



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Memoria

ESTUDIO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA REDUCTORA CON CAMBIO DE VELOCIDAD CON IMPRESORA 3D

Proyecto Final de Grado
INGENIERÍA MECÁNICA

Albert Casulleras de Dios

Directora: **Montserrat Sánchez Romero**
Codirector: **Rafael Weyler Pérez**

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Terrassa, 10 de Octubre de 2018

Índice

INTRODUCCIÓN.....	5
BRIEFING DEL PROYECTO.....	6
2.1. Objetivo	6
2.2. Motivaciones	6
2.3. Metodología	6
MARCO TEÓRICO	9
3.1. Conceptos previos.....	9
3.2. Definición y usos de los reductores de velocidad.....	9
3.3. Tipo de reductores	10
3.3.1. Clasificación según disposición de ejes.....	10
3.3.2. Clasificación según sistema de fijación	10
3.3.3. Clasificación según forma de transmitir el movimiento	11
- Bandas o correas:.....	11
- Cadenas:	12
- Reductores Sinfín-corona:	13
- Reductores Cicloidaes:	14
- Reductores Planetarios:.....	15
- Reductores de engranajes cilíndricos:	16
3.4. Clasificación de las impresoras 3d	18
3.4.1. SLA (Estereolitografía)	18
3.4.2. SLS (Sinterizado selectivo por láser).....	19
3.4.3. BJ (Inyección de aglutinante).....	20
3.4.4. FDM (Modelado por deposición fundida)	20
- PLA (Poliácido Láctico)	20
- ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).....	21
- PET (Tereftalato de Polietileno)	21
4. MARCO PRÁCTICO	22
4.1. Selección de Tipo de reductora.....	22
4.2. Selección de Tipo de Impresión	24

4.3. Prediseño	25
4.4. Diseño	29
4.4.1. Pautas de diseño	29
4.4.2. Elementos estructurales y/o funcionales	31
4.4.3. Circuito eléctrico	32
4.3.4. Subconjuntos	35
Engranajes	35
Piñón	37
Eje Primario	37
Eje secundario	38
Engranajes 4 y 5	41
Plato de garras	43
Soportes	45
Selector	54
Palanca y Transmisor	54
Tapa Motor y Caja Instalación Eléctrica	55
Velocímetro	58
4.4.5. Tolerancias previas	59
4.5. Proceso Impresión 3d	59
4.5.1. Impresora utilizada	60
4.5.2. Puesta en marcha de la impresora y acondicionamiento	61
4.5.3. Defectos de impresión	64
Defectos y soluciones	65
4.5.4. Problemas con algunas piezas del diseño inicial	66
4.6. Ensamblaje y montaje	68
4.6.1. Herramientas usadas durante el proyecto	69
4.6.2. Preparación de las piezas antes del montaje	70
4.6.3. Subsistemas	71
5. CONCLUSIONES	80
5.1. Modelo Final	80
5.2. Presupuesto del proyecto	81
5.3. Esquema temporal del proyecto	82

5.4. Conclusiones destacadas	84
5.5. Líneas futuras.....	84
5.6. Agradecimientos.....	84
6. Bibliografía.....	85
7. Anexos.....	87
7.1. Planos de las piezas	87

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se van a desarrollar dos temas ingenieriles distintos. El primero son las reductoras de velocidad, que son sistemas tradicionales los cuales llevamos muchos años conviviendo con ellos y nos ayudan a cumplir cantidad de necesidades del día a día. El segundo tema que se va a tratar es la impresión 3d, que es una tecnología muy nueva la cual últimamente se está investigando mucho y hay cantidad de desarrollos.

Los motorreductores o sistemas reductores mecánicos de velocidad son unos de los inventos más antiguos de la historia que hoy en día aún seguimos usando en muchas aplicaciones de nuestra vida cotidiana: desde un simple reloj analógico, pasando por la mayoría de los automóviles que circulan por la calle, ascensores, etc. Todos usan un reductor o motorreductor mecánico más pequeño o más grande para que el elemento funcione a la velocidad deseada. En este proyecto se va a representar de forma muy simple como funciona un reductor, y los aspectos que hay que tener en cuenta para que lo haga correctamente.

Por lo contrario, la Impresión 3d es una tecnología que de momento se usa bastante poco. Pero es una tecnología con mucho potencial ya que en cuanto funcione bien se podrá crear cualquier objeto, del material que se desee, en el lugar del mundo, en muy poco tiempo y sin requerir de un proceso de fabricación complejo. En este proyecto a parte de explicar en qué consiste también se usará para crear algo físico que se ha diseñado desde cero.

BRIEFING DEL PROYECTO

2.1. Objetivo

Este proyecto final de grado es un proyecto procedimental, dado que el objetivo principal a cumplir ha sido, en este caso, diseñar y confeccionar mediante impresión 3D una reductora con un sistema implementado en el diseño para poder cambiar la velocidad.

A partir de este objetivo principal han surgido otros objetivos como aprender a usar una impresora 3d, modificar sus parámetros e incluso desmontarla y modificarla para que funcionase mejor.

Otro de los objetivos y el que yo considero más importante del proyecto a parte del principal, era diseñar las piezas para poder ser impresas en 3d. No es nada fácil y a veces una sola pieza hay que partirla y hacer que encaje en varias piezas distintas.

2.2. Motivaciones

La principal motivación del proyecto es diseñar des de cero un reductor con un sistema para poder cambiar la velocidad implementado en el diseño, poder imprimirlo, construirlo y que funcione tal y como se ha diseñado.

El hecho de poder aprender y trabajar con nuevas tecnologías, cómo es la impresión 3D, es otra de las motivaciones. Aprender a usar una impresora 3D y hacer el diseño de las piezas para que puedan imprimirse, es algo que en la Universidad de momento se ve por encima y mediante este proyecto se puede profundizar bastante en este tema.

Otra motivación personal para este proyecto es aprender mas del mundo de los reductores y los cambios de marcha, así como entender su funcionamiento.

2.3. Metodología

Consiste en un trabajo dividido en 2 partes; Marco teórico y Marco práctico.

En el marco teórico se hace una amplia búsqueda de información sobre reductoras y impresión 3D y se filtran los conceptos más importantes para este proyecto. Los tipos que hay, como funcionan, aplicaciones, materiales, etc. Se han consultan diferentes fuentes de información, básicamente páginas web y foros online que hablan de los sistemas de reducción e impresión 3D. También es de gran ayuda la visualización de vídeos, que aparte de completar información ayudan a dar muchas ideas.

Seguidamente en el marco práctico, una vez acabada la búsqueda de información, lo primero fue decidir qué tipo de reductora se haría y con qué tecnología se imprimiría. Se piensa en posibles diseños de funcionamiento y también la forma de diseñar las piezas para poder ser impresas en 3D. Después de algún que otro prototipo y unas cuantas vueltas a este prediseño se empezaron a tener las ideas más claras a tener las ideas claras.

Se diseñó la reductora directamente con el Solid Works. Es una forma bastante fácil de hacer las piezas y que vayan encajando. En un mismo ensamblaje se van construyendo las piezas y modificándolas para que encaje todo correctamente. Una vez con el diseño completo, un compañero me prestó una impresora 3d con la que pude empezar a imprimir piezas.

Se le tuvo que cambiar algunas cosas porque en un principio tenía algunas dificultades para imprimir correctamente, pero acabó funcionando. Mientras se iban imprimiendo las piezas se cambiaron algunos detalles del diseño que no se habían tenido en cuenta, o bien no se imprimían como se deseaba.

Finalmente, con todas las piezas impresas se construyó la reductora y con la ayuda de un motor y una pequeña instalación eléctrica integrada en el diseño, se comprobó su correcto funcionamiento. Una vez acabado se redactó la memoria, la cual incluye fotos realizadas en el transcurso del proyecto y algunos esquemas realizados con AutoCAD.

Al final de la memoria hay otro apartado donde hago conclusión de todo el proyecto, incluyendo un estudio temporal y otro de costes. Por último, explico líneas futuras para realizar otros proyectos relacionados con este y en los anexos se van a encontrar todos los planos de las piezas de la reductora.

El lugar de trabajo en el cual se ha realizado el proyecto ha sido en parte en la Universidad dónde hice el diseño con el Solid Works, y por otra parte en mi casa donde instalé la impresora 3d y pude imprimir y montar la reductora.

MARCO TEÓRICO

3.1. Conceptos previos

Previamente a empezar a hablar de reductores de velocidad, se deben comentar algunos conceptos básicos que se van a nombrar en diversas ocasiones y se debe tener claro su significado

- **Relación de transmisión:** Es el cociente entre la velocidad de salida y la velocidad de entrada en un sistema de transmisión. También equivale al cociente entre el número de dientes del engranaje motor y el número de dientes del engranaje conducido. Para que el sistema sea reductor debe ser inferior a 1.
- **Potencia:** Cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.
- **Par:** Momento de fuerza que se ejerce sobre el eje de transmisión.

3.2. Definición y usos de los reductores de velocidad

Los reductores de velocidad son dispositivos mecánicos que de forma general se utilizan para dos propósitos. En primer lugar, se usan para aumentar el par de salida de un eje y de esta forma poder aumentar la fuerza útil. En segundo lugar, también reducen la velocidad de este eje, así como indica su nombre. En el caso de los motorreductores son reductores que ya integran en el mismo dispositivo un motor.

La velocidad de giro y el par motor en una reductor de velocidad ideal varían de forma inversamente proporcional. Sabiendo que la potencia en un eje es el resultado del producto entre la velocidad angular y el Torque o par, se entiende como la potencia a la entrada y salida en un reductor es la misma, pero si disminuimos la velocidad vamos a aumentar el par, que se traducirá a un aumento en la fuerza de trabajo. Un ejemplo muy claro donde podemos experimentar este efecto es cuando vamos en bicicleta y subimos una cuesta. Como necesitaremos más fuerza para subirla, debemos aumentar el par poniendo un plato más pequeño, vamos a ir más lentos, pero nos costara menos esfuerzo subir.

3.3. Tipo de reductores

Existen varios tipos de reductores, todos ellos tienen en común la misma finalidad, pero funcionan de forma distinta y para muchos tipos de aplicaciones diversas. A la hora de clasificar los reductores, no es tarea fácil, porque hay varias características a tener en cuenta. Todas estas características se solapan y no se pueden clasificar de forma estándar como otro tipo de dispositivos.

A continuación, se nombrarán estas características y se explicarán brevemente en que consiste, luego se hará más hincapié en aquellos tipos que pueden ser candidatos para hacer este proyecto.

3.3.1. Clasificación según disposición de ejes

- Coaxiales: El eje de entrada y salida se encuentran ubicados en un mismo eje coincidente.
- Paralelos: El eje de entrada y salida se encuentran en un mismo plano, pero en ejes paralelos.
- Ortogonales: El eje de entrada y salida forman un ángulo de 90°

3.3.2. Clasificación según sistema de fijación

- Fijo
- Pendular

3.3.3. Clasificación según forma de transmitir el movimiento

- **Bandas o correas:** Este sistema se basa en trasladar el movimiento de un eje a otro usando bandas o también nombradas correas de materiales flexibles como podrían ser gomas especiales a las que se la añaden fibra de vidrio para aumentar su durabilidad. Estas bandas pueden ser lisas o pueden tener formas de dientes que encajan con ruedas dentadas específicas.

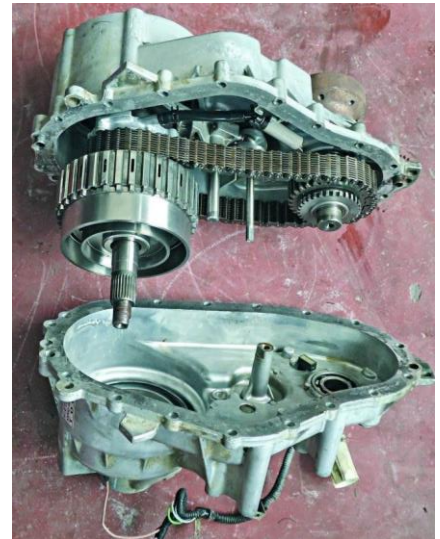
Aún que fue un sistema de transmisión muy usado des de la revolución industrial (las correas eran de otros materiales como cuero), tanto para reducir como para multiplicar velocidades, hoy en día ya no la encontramos en demasiadas aplicaciones de nuestra vida cotidiana a parte del sector automovilístico donde se suelen utilizar en la distribución o bien en la transmisión de las ruedas motrices en algunas motocicletas.



1. Correa de distribución de un automóvil

Las bandas que se usan en este tipo de transmisiones suelen tener algunos problemas, como que hay que tensarlas para su correcto funcionamiento (el sistema suele llevar ruedas lisas que actúan como tensores), pierden sus cualidades hasta romper y hay que reemplazarlas cada cierto tiempo.

- **Cadenas:** Su funcionamiento es similar al de las poleas, pero se usan cadenas de eslabones para transmitir el movimiento entre platos dentados. Su durabilidad es mucho más elevada y no hay que hacerle ningún mantenimiento siempre y cuando se mantenga limpia y lubricada. Se usan bastante en la mayoría de motocicletas y otros vehículos, pero también se pueden destentar y llegar a romper o salirse de la transmisión, hecho que a veces puede llegar a provocar rotura de otros elementos.



2. Reductora de un vehículo 4x4

- **Reductores Sinfín-corona:** El sistema Sinfín-corona es quizás el sistema de reducción ortogonal más conocido y uno de los más fáciles de entender su funcionamiento.

Consta de un tornillo sinfín en el eje motor que transmite el movimiento a una corona perpendicularmente. Este tipo de mecanismo es irreversible ya que si se intenta girar la corona no va a funcionar como multiplicador moviendo el tornillo sinfín. Se trata de una transmisión de movimiento entre ejes que forman un ángulo de 90 grados que logra una reducción muy elevada.

Normalmente, por cada vuelta que gira el tornillo, la corona efectúa un avance de un diente. Es decir que sabiendo el número de dientes de la corona se sabe las vueltas que ha dado el sinfín para que esta de una vuelta, de esta forma se puede calcular con facilidad la relación de transmisión del sistema.

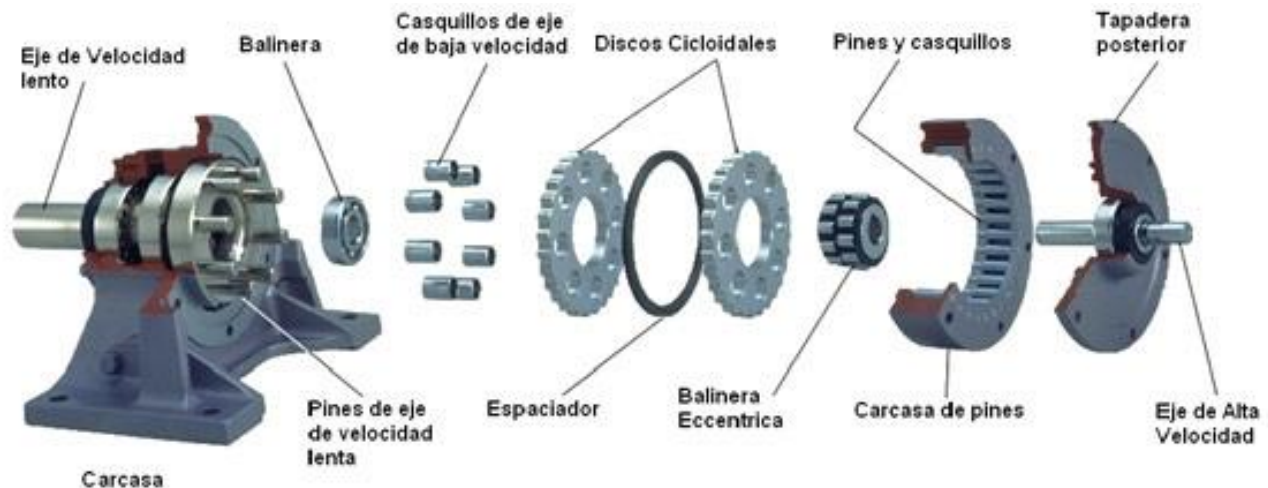
Para que el sinfín pueda encajar correctamente con la corona, esta debe tener unos dientes especiales que respeten la forma del sinfín. Muchas forman una ligera ondulación negativa en la parte más alta y a veces también se disponen de forma inclinada, con el propósito de transmitir correctamente el movimiento sin ocasionar fricciones indeseadas.

Aún que este sistema de reducción a veces no se le considera un sistema de engranajes, en este trabajo se le ha englobado dentro de los tipos de reductores de engranajes porque la corona no deja de ser un engranaje que encaja con “el diente” del tornillo sinfín.



3. Ejemplo de sinfín-corona

- **Reductores Cicloidales:** Se trata de un sistema bastante usado en la industria, en concreto en algunas articulaciones de Robots. Cómo el funcionamiento de este tipo de reductores es un poco complejo se explicará con una ilustración de soporte donde se distinguen las partes y se puede ver cómo funciona:



4. Reductora Cicloidal

Es un sistema muy fiable que no suele desgastarse ni averiarse pudiendo aguantar cargas de choque muy fuertes.

El eje de entrada o eje rápido va conectado a una leva excéntrica recubierto de unos casquillos que ruedan. Esta leva es conocida con el nombre de balineta. El movimiento excéntrico de la leva hace que el disco gire alrededor de la circunferencia interna de la carcasa de pines.

A diferencia de los engranajes convencionales, los discos de los reductores cicloidales tienen lóbulos y no dientes. Así que, en vez de concentrar toda la fuerza de transmisión en un punto como los engranajes, los discos cicloidales transmiten la fuerza por rotación, y no por el esfuerzo cortante.

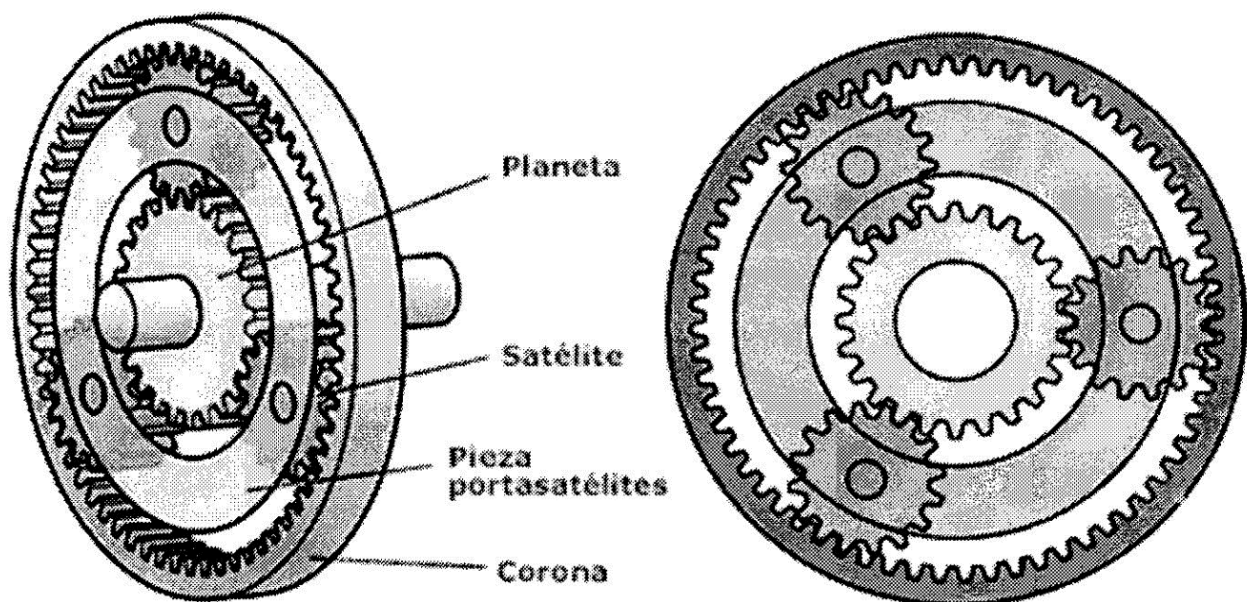
Cada revolución de la leva supone un cambio de pin-lóbulo, por eso normalmente la relación de transmisión en este tipo de reductores es uno a el número de lóbulos que tiene el disco.

En algunos reductores cicloidales, se utilizan discos y de balineras dobles que trabajan simultáneamente a 180° para contrarrestarse en fuerzas contrarrotantes.

- Reductores Planetarios: También llamados reductores epicicloidales son unos de los más fiables y con más rendimiento, y por eso se usan mucho. No requiere de un mantenimiento exhaustivo y conllevan mucha precisión.

Un reductor de engranajes planetarios se constituye por un engranaje central llamado sol o bien planeta alrededor del cual giran otros engranajes (normalmente 3) los cuales se llaman satélites y siempre son del mismo tamaño. Los ejes de estos satélites van montados sobre una pieza llamada portasatélites la cual forma un eje coaxial al eje del sol o planeta. Al rededor de todo hay la corona, que es un anillo con los dientes en la parte de dentro que tienen contacto con los satélites.

Teniendo el control sobre estos mecanismos se pueden conseguir varias combinaciones de relaciones de transmisión, bloqueando el anillo o bien el portasatélites.



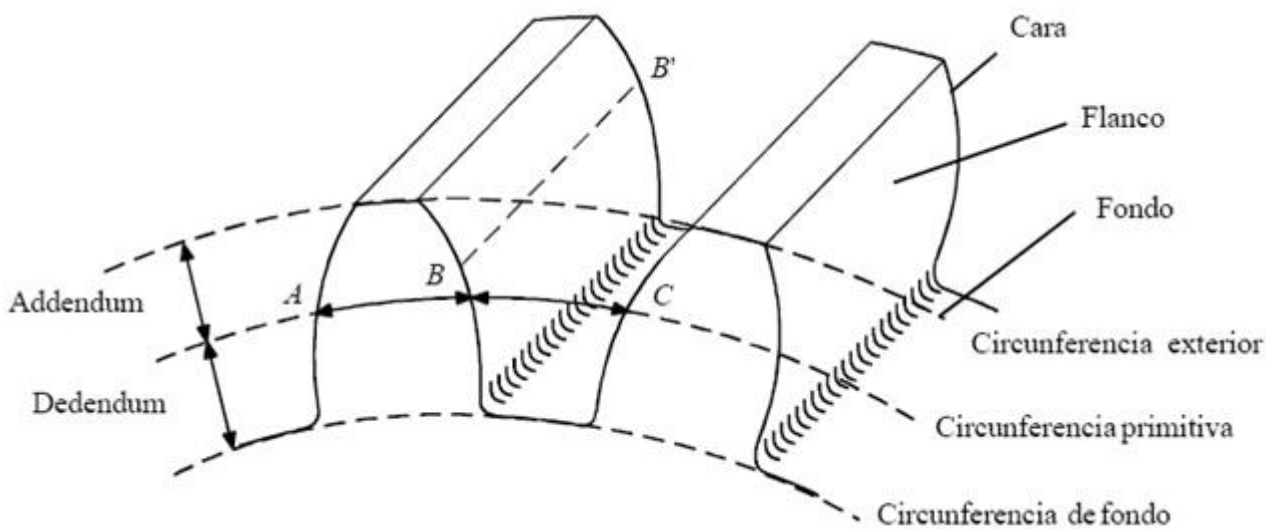
5. Representación de un reductor planetario.

A parte de infinidad de aplicaciones, este tipo de reductores son una parte esencial de los cambios automáticos de la mayoría de los automóviles.

- **Reductores de engranajes cilíndricos:** Son los reductores más simples y que pueden tener infinidad de combinaciones para conseguir la velocidad o el par de salida deseado. Presumen de tener unos de los rendimientos más altos (96-99% por cada transmisión) y se usan exclusivamente para arboles de transmisión de ejes paralelos.

Este tipo de reductores pueden albergar dos tipos diferentes de engranajes: engranajes rectos o engranajes helicoidales

• **Engranajes rectos:** Es el engranaje más común que hay y también el más fácil y barato de fabricar que existe. Se suelen utilizar solo para transmitir velocidades pequeñas y medianas, pero para grandes reducciones de gran potencia. Como sus dientes son paralelos no se producen fuerzas axiales, y resultan ser bastante estables sin desalinearse.



6. Partes de un engranaje de dientes rectos.

Se explican algunos conceptos básicos ya que más adelante se va a usar este tipo de engranaje.

- Circunferencia de fondo: Diámetro que tiene el engranaje sin los dientes.
- Circunferencia primitiva: Diámetro donde se encuentran todos los puntos donde el engranaje va a encajar con otro engranaje. Los diámetros primitivos de un par de

engranajes que engranan siempre son tangentes, por lo tanto, la suma de los radios resulta la **distancia entre ejes**.

- Circunferencia exterior: Diámetro total de la rueda dentada teniendo en cuenta los dientes.
- Módulo engranaje: Relación que hay en un engranaje entre el diámetro primitivo y su número de dientes. Esta relación es proporcional entre el paso sus dientes y el numero π .

$$\text{módulo} = \frac{\varnothing \text{ primitivo}}{n^{\circ} \text{ dientes}} = \frac{\text{paso}}{\pi}$$

- Engranajes helicoidales: Sus dientes tienen forma helicoidal al largo del cilindro del engranaje. Son perfectos para aplicaciones que requieren altas velocidades o bien con un bajo nivel de ruido. Como engrana más de un diente a la vez suelen tener un rendimiento algo más bajo que los engranajes rectos. Este hecho también provoca fuerzas axiales que los rodamientos deben requerir estar preparados para aguantar.



7. Reductora de engranajes helicoidales.

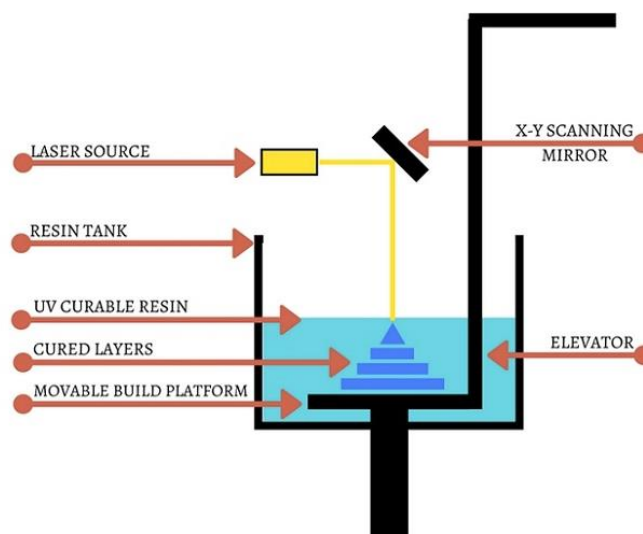
3.4. Clasificación de las impresoras 3d

Así como con las reductoras, en impresión 3d también hay muchos tipos de impresoras y maneras de imprimir, unas más simples otras más sofisticadas y sobre todo caras e inaccesibles. Vamos a ver algunos tipos clasificándolas según la tecnología usada para imprimir.

3.4.1. SLA (Estereolitografía)

Del inglés “Stereolithography” o también llamada más vulgarmente como impresión de resina, esta tecnología imprime objetos 3d usando la fotopolimerización. La impresión consiste en solidificar capas de resina de poliéster fotosensible usando un láser UV. De esta forma se consiguen objetos de mucha precisión y propiedades mecánicas bastante buenas. Los tiempos de impresión no son los más rápidos, ya que aparte de imprimirse, luego necesita un proceso de curado.

Es una tecnología bastante cara, aunque cada vez hay más modelos algo más asequibles y para todos los públicos y no para objetos de dimensiones reducidas, no más de 50x50x50 mm. Como en otro tipo de impresiones, en la Estereolitografía es necesario el uso de soportes si hay que imprimir piezas las cuales hay que imprimir partes de la pieza que no se apoyan en otra capa.

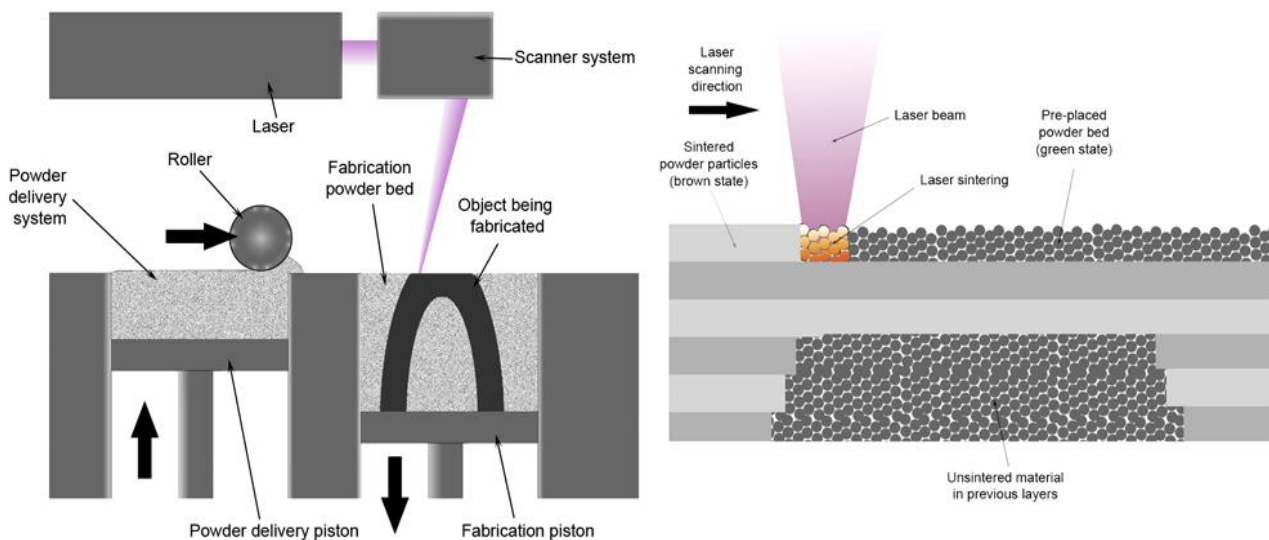


8. Esquema funcionamiento impresión SLA.

3.4.2. SLS (Sinterizado selectivo por láser)

Se usa un láser para solidificar capas de polvo de pocas decimas de milímetro que normalmente son de nylon o bien poliamida. En este caso la solidificación no se consigue fundiendo el material, solo lo sinteriza, esto significa que lo calienta con la temperatura suficiente para que el polvo quede unido molecularmente sin llegar a fundirse. La capa a solidificar es precalentada unos grados por debajo a la temperatura de fusión del material, así el láser no requiere una potencia de pico tan elevada.

A diferencia de otro tipo de tecnologías, la pieza a imprimir no requiere soportes ya que se mantiene sujeta gracias al polvo no solidificado. Al acabar la impresión solo hace falta retirar este polvo no solidificado para obtener la pieza impresa. Como no se llega a fundir quedan piezas de características poco densas y porosas.



9. Esquema funcionamiento impresión SLS

- **SLM (Fusión selectiva por láser):** Esta considerada una subcategoría de SLS con la diferencia que se usa solo para metales y sí que llega a fundir el material. De esta forma quedan piezas más compactas y sólidas.

3.4.3. BJ (Inyección de aglutinante)

Del inglés Binder Jetting, no es una de las tecnologías de impresión 3d de las que se hable mucho, pero es interesante ya que funciona de forma similar al sinterizado selectivo por láser (SLS) pero sin usar ningún laser. Se trata de solidificar las partes seleccionadas de capas de polvo mediante calor y un agente fusionador y otro agente de detalle.

Con un buen control de la temperatura se puede conseguir una reacción igual a la fusión del material. Se pueden imprimir todo tipo de objetos de formas totalmente complejas sin dificultades, las propiedades de las cuales van a ser óptimas. Este proceso es mucho más rápido que los otros sistemas de impresión, pero de momento solo está al alcance de muy pocos.

3.4.4. FDM (Modelado por deposición fundida)

Es el sistema de impresión más simple y económico. Se trata de extruir plástico e ir haciendo capas de pocas decimas de milímetro para hacer un objeto tridimensional simple. Cómo en otros casos hay que usar soportes para imprimir piezas tridimensionales algo más complejas.

Esta tecnología está muy estandarizada con diferencia y hay cantidad de impresoras asequibles y al alcance de todos en el mercado. Algunas impresoras hasta tienen múltiples extrusores y se puede llegar a imprimir una sola pieza de varios colores y/o materiales. Puede imprimir infinidad de materiales siempre y cuando fundan entre 50 °C y 300 °C. A continuación, se nombrarán y se explicarán algunos de los materiales más usados en este tipo de tecnología de impresión 3d.

- **PLA (Poliácido Láctico)**: Es con diferencia el material más usado en impresión FDM, básicamente porque es el que usan aquellos que se inician en este mundo. Es muy estable y da facilidades para imprimir. Presume de ser un material “ecofriendly” ya que aparte de provenir de energías renovables, es reciclable y biodegradable. Tiene poca resistencia

térmica (a partir de los 60 °C puede deformar) y no presume de tener gran resistencia mecánica. Temperatura de extrusión 200 °C aprox.

- **ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)**: Material plástico derivado del petróleo bastante resistente a altas temperaturas sin perder tenacidad (entre - 40 °C y 90 °C). También resulta ser muy resistente a agentes químicos y a los impactos. Por todo esto y mucho más es uno de los materiales favoritos para la industria. En piezas grandes puede haber contracción entre capas y formar defectos. Al imprimir puede desprender gases tóxicos. Se aconseja tener algo de experiencia en impresión 3d para imprimir con ABS. Temperatura de extrusión 240 °C aprox.

- **PET (Tereftalato de Polietileno)**: Es el mismo material que se usa para hacer las botellas de plástico para el consumo doméstico. Tiene unas excelentes propiedades ya que es resistente al desgaste, la corrosión, impactos, esfuerzos permanentes, ácidos, etc. Además, es apto para estar en contacto con alimentos, aunque a la hora de imprimir puede ser algo toxico. El único punto débil es que no tiene mucha resistencia térmica ya que puede deformar a partir de los 70 °C. Temperatura de impresión 240 °C aprox.

4. MARCO PRÁCTICO

En este apartado se van a poner en práctica algunos de los conceptos explicados en el marco teórico y se explicará todo el procedimiento que se ha seguido para llevar a cabo este estudio de diseño, la impresión y construcción de la reductora con velocidad variable. También se van a explicar todos los problemas y complicaciones que han surgido en el proyecto y las soluciones que se le ha dado. En esta segunda parte se ilustrarán las explicaciones con imágenes que se han tomado durante la realización de este proyecto.

4.1. Selección de Tipo de reductora

Se va a empezar esta segunda parte explicando la elección del tipo de reductora que se va a hacer todo el desarrollo del estudio de diseño y construcción justificando porque se elige este tipo de reductora y las razones por las cuales se descartan los otros tipos mencionados en el marco teórico.

Lo primero a tener en cuenta en este estudio, es que sea una reductora que se pueda hacer íntegramente impresa en 3d exceptuando de algún elemento cómo podrían ser rodamientos, elementos de sujeción u otros elementos estructurales que actúen como esqueleto y refuercen la pieza. El objetivo es que la reducción y la transmisión del movimiento fuera a través de superficies impresas en 3d. Por este motivo se descartaron directamente las reductoras que funcionan mediante banda o cadena. Si es cierto que una cadena sí que hay la posibilidad de poder ser imprimida en 3d y ser ensamblada.

Pero el resultado sería algo con poca variedad de piezas pero con mucha repetición de ellas. Además, quedaría una cadena demasiado grande ya que en una cadena normal las piezas son metálicas, esbeltas y pueden aguantar grandes tensiones. En el caso de tener que hacerlo impreso en 3d, cómo se haría en algún método “convencional” dejando de lado tecnologías más costosas como son BJ o SLS, quedarían unos eslabones de cadena muy gruesos.

Por estas razones, se descartan las opciones de bandas y cadenas con lo que ya solo quedaría el gran grupo de reductores de velocidad que transmiten el movimiento mediante

engranajes. Dentro de este gran grupo se descarta directamente el reductor de engranajes planetarios ya que en cursos anteriores el alumno Gerard Marcet ya había hecho este mismo proyecto haciendo el estudio de diseño y construcción de una reductora de engranajes planetarios, que además en su caso era Trabajo final de Máster. Entonces se decidió que aunque este tipo de reductora era muy interesante y podía haber salido algo muy logrado, se trataba de un campo muy explorado recientemente y tampoco hay la intención de hacer algo parecido.

Seguidamente se piensa en el reductor de sinfín-corona, resulta ser un tema también ya explorado anteriormente por el profesor Rafael Weyler sin éxito. Aún que se trate de un método de reducción muy simple que solo consta de dos elementos, tiene una gran dificultad que es el Sinfín. En primer lugar, el diseño es complicado ya que tanto el engranaje como el Sinfín deben encajar a la perfección para poder transmitir el movimiento ortogonalmente. Hasta aquí, no habría problema. De hecho, lo interesante del proyecto sería el modelado en 3d de las dos piezas, porque habría que utilizar interacciones entre una rueda dentada y un cilindro para definir la forma del sinfín.

La problemática viene a la hora de imprimir el sinfín. Con los métodos “convencionales”, que no se exceden en costes, resulta casi imposible imprimir de una sola pieza el Sinfín ya que no tiene ninguna parte plana y por su geometría no es posible ir depositando capas una encima de otra y que queden bien puestas sin derramarse. Aun así, se podría lograr diseñar un Sinfín en un par de piezas que pudiera ser impreso y ensamblado, pero también se descartó ya que al resolver este problema se acaba el contenido del estudio de diseño y construcción porque tal y como se ha dicho anteriormente solo se trata de dos piezas y es un sistema de reducción muy simple.

Por lo que hace la reductora cicloidal tampoco se valora positivamente por la complejidad de sus piezas para ser impresas y porque debería de llevar muchos elementos como rodamientos, ejes, etc. que no podrían ser impresos en 3d y que costarían de encontrar e integrar en el diseño.

Finalmente se plantea en un concepto distinto, que consiste en hacer el estudio de diseño de una reductora de engranajes rectos de ejes paralelos simple, pero con cambio de velocidad. Este estudio de diseño puede tener mucho jugo tanto para hacer un sistema que

te permita engranar las distintas velocidades, cómo un sistema para poder seleccionar la marcha y poder cambiar de velocidad fácilmente. Además, en este caso no había ninguna restricción aparente.

4.2. Selección de Tipo de Impresión

En lo que respecta a la manera de imprimir las piezas se tuvo bastante claro des del principio, ya que en la Universidad se me dio la posibilidad de imprimir las piezas que diseñara en PLA o ABS de forma gratuita. No obstante, se pensó que gran parte de este proyecto tendría que ser la impresión y los problemas que esta podría conllevar. Así que se buscó la forma de poder participar en esta impresión de forma activa en vez de que se imprimiera todo en la Universidad sin tener que hacer nada.

Después de buscar y hablar con varias personas surgió una oportunidad muy buena para el proyecto. Un compañero de clase tenía una impresora 3d de PLA/ABS que era nueva pero que no usaba porque la tenía averiada. En seguida se llegó a un acuerdo; él se ofrecía a prestármela si se la arreglaba. Evidentemente se aceptó añadiéndole un reto más a resolver para el PFG; arreglar una impresora 3d. Entre PLA y ABS des de un principio se escogió el PLA ya que es más económico y se puede imprimir a temperaturas más bajas, lo que conlleva menos complicaciones la hora de imprimir.

4.3. Prediseño

Después de tener claro el objetivo y lo que debía hacer, el próximo paso fue empezar a pensar cómo hacerlo. Se pensó en un reductor de engranajes rectos simple, que tuviera un eje de entrada, otro eje donde se hiciera una reducción importante (eje primario) y un último que fuera el de salida donde se redujera aún más la velocidad (eje secundario). La idea era hacerlo todo con números enteros para no complicar los cálculos ni el modelado del 3d. Así que se empezó por intentar tener unos diámetros primitivos con números enteros para facilitar una distancia entre ejes sin decimales. La única forma de hacer esto posible era coger el módulo adecuado para hacer los engranajes y con un diámetro primitivo sin decimales calcular un número de dientes exacto. El primer módulo que a uno le viene en mente es modulo 1, ya que te salen el mismo número de dientes que el valor del diámetro primitivo. Pero no era posible ya que quedaban unos dientes demasiado pequeños para poder ser impresos en 3d.

Entonces se escogió modulo 2, y se pensó en la primera reducción, la del eje motor al eje primario. Respetando el módulo 2 debía ser una reducción bastante grande, pero también se tenía que tener en cuenta las dimensiones de los engranajes para ser impresos. Se escogió una reducción de $1/4$ que con un diámetro primitivo de 20 mm y uno de 80 en el de salida se conseguía una reducción del 75%. Además, salen ambos engranajes de un tamaño aceptable para imprimir en 3d, ni muy grandes, ni muy pequeños.

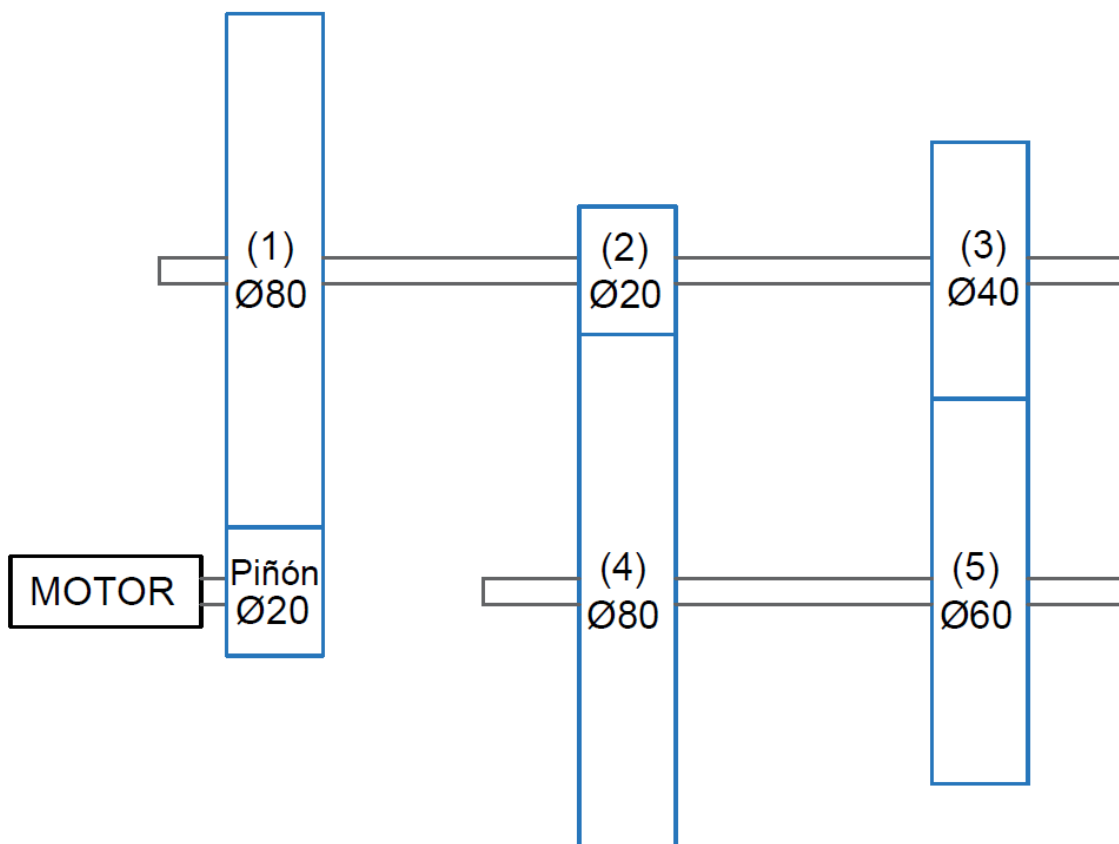
Seleccionados este par de datos, el resto ya viene más rodado. Haciendo la suma de los diámetros primitivos se obtiene la distancia entre ejes. Como hay la posibilidad, se determina hacer un reductor coaxial y se coloca el eje secundario en el mismo eje que el eje motor. Con una distancia de 50 mm entre ejes y modulo 2 hay que hacer 2 reducciones distintas, que serán las marchas del reductor. La primera de se decide utilizar la misma reducción $1/4$ que ya se hace del eje motor al eje primario y la otra podría ser $2/3$ con un engranaje de 40 mm de diámetro primitivo y otro de 60 los cuales respetan el módulo seleccionado y la distancia entre ejes dada. Para comprobar que el engranaje es viable, se calculan el número de dientes. Si el número de dientes da un número no decimal significa que el engranaje es viable.

Cálculos realizados:

Sabiendo que:
$$\text{módulo} = \frac{\varnothing \text{ primitivo}}{n^{\circ} \text{ dientes}} \rightarrow n^{\circ} \text{ dientes} = \frac{\varnothing \text{ primitivo}}{\text{módulo}}$$

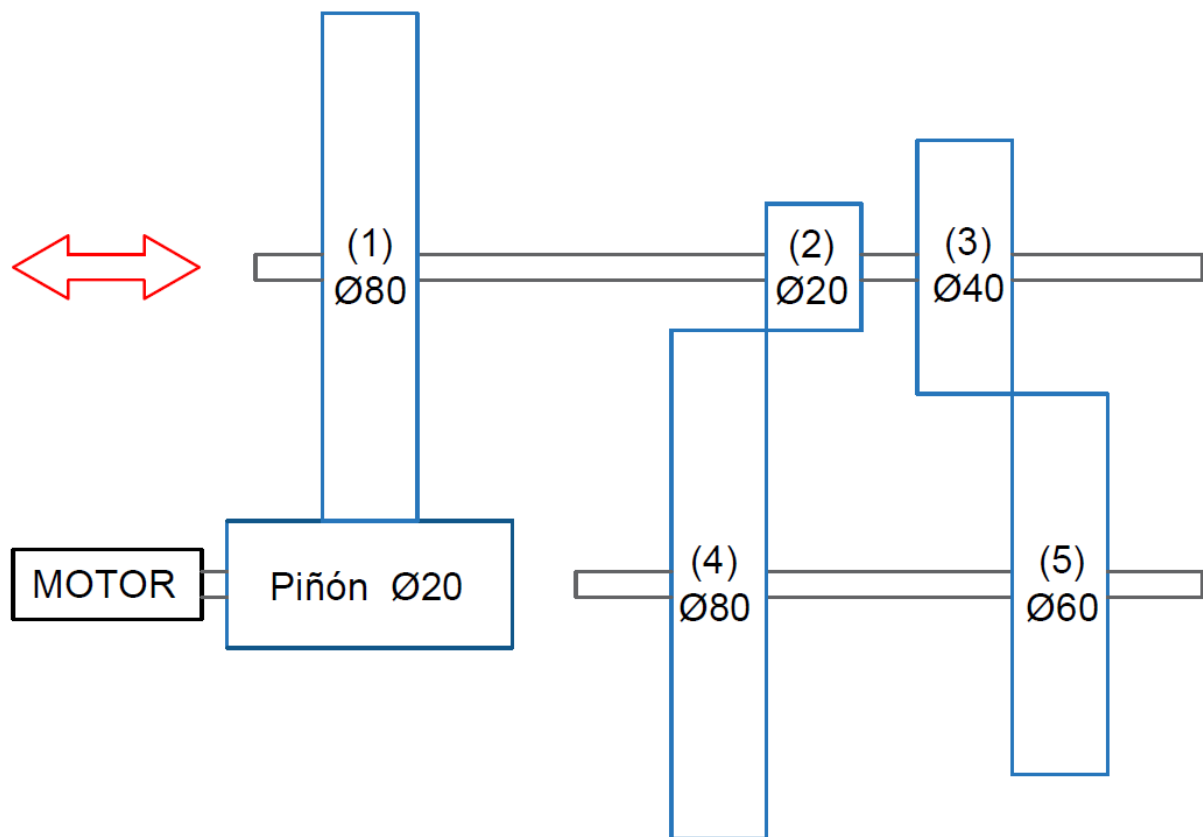
- Engranaje primitivo 20mm: $n^{\circ} \text{ dientes} = 20 \text{ mm}/2 = 10 \text{ dientes}$
- Engranaje primitivo 40mm: $n^{\circ} \text{ dientes} = 40 \text{ mm}/2 = 20 \text{ dientes}$
- Engranaje primitivo 60mm: $n^{\circ} \text{ dientes} = 60 \text{ mm}/2 = 30 \text{ dientes}$
- Engranaje primitivo 80mm: $n^{\circ} \text{ dientes} = 80 \text{ mm}/2 = 40 \text{ dientes}$

Una vez con todos los engranajes definidos se les asignara nombre para no tener confusiones a la hora de explicar el proyecto, y ponerle un nombre al archivo CAD cuando se haga el diseño. A continuación, esquema de la representación como irán dispuestos los engranajes de la reductora con los nombres:



10. Esquema con los diámetros y los nombres de cada engranaje.

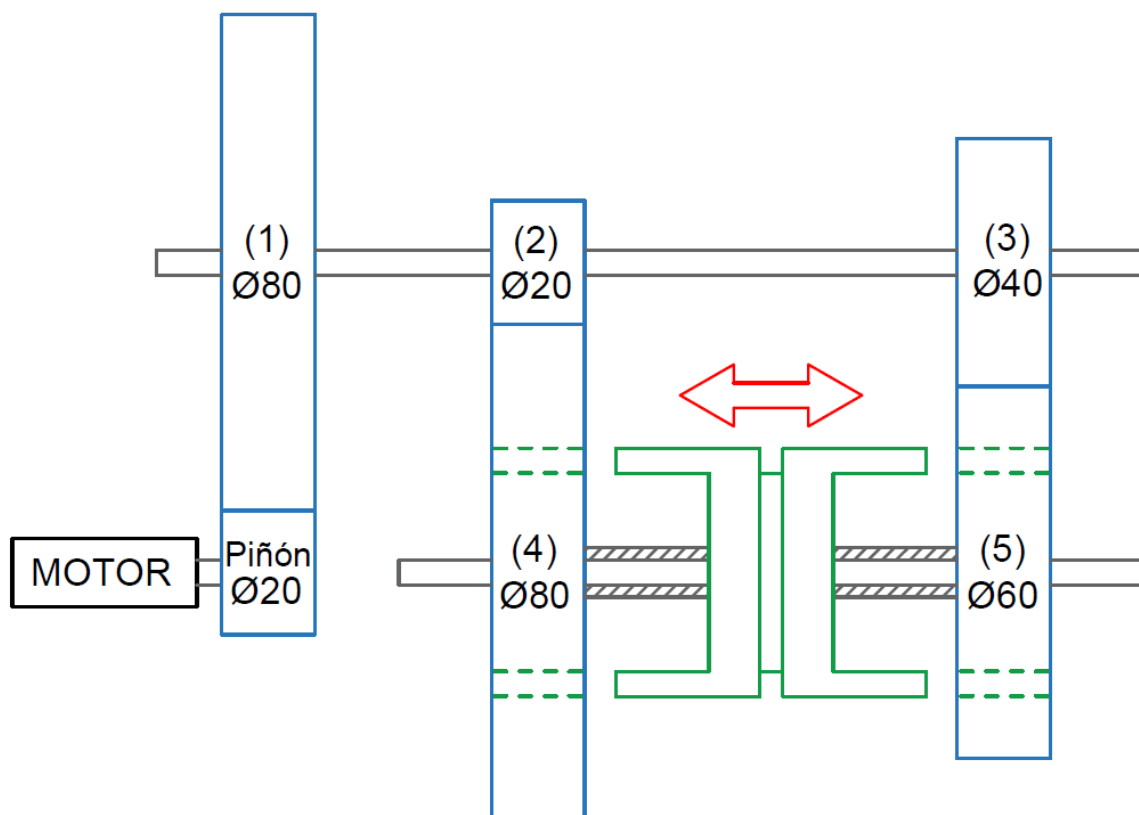
Con los engranajes nombrados hay que pensar ahora como hacer para engranar las marchas y cambiar de una a otra. El primer prototipo que se pensó fue el siguiente:



La idea es poner los engranajes en los ejes desalineados en los ejes, con esto se consigue que cuando este engranada una marcha no esté engranada la otra. Si se hace un eje que se pueda desplazar longitudinalmente y al alinear los otros dos engranajes se consigue desengranar una marcha y engranar la otra. De esta forma se cambiaría de marcha siempre y cuando el piñón sea lo suficientemente largo para que el primero del eje primario de 80 mm se deslice con el movimiento del eje sin desengranarse. Este sistema puede funcionar, pero tiene un problema. Solo funciona si para cambiar de marcha se para el motor. Porque si se cambia en marcha la velocidad de los engranajes que desengranas y engranas es distinta ya que la relación es distinta. Entonces esto haría que los dientes de los engranajes que se engranan llevaran velocidades distintas y se produciría un impacto entre ellas que, aparte de no engranar correctamente la marcha, podría ocasionar daños al engranaje o bien romperse.

Como no era viable, se pensó en cómo cambian de marcha los coches para hacer algo parecido. Los coches utilizan sistemas bastante complicados que, aparte de utilizar embrague para cambiar, hay unas piezas llamadas sincronizadores acopladas en los engranajes que permiten adaptar la velocidad de una marcha a otra para que los engranajes no rasquen. Así que tampoco era viable.

Entonces se buscó cómo funcionaban las motos y algunos coches más antiguos que no tuvieran estos sincronizadores. Y se encontró un video el dónde desmontaban un cambio de motocicleta. En él se podía ver como en uno de los ejes había engranajes rodantes independientes al eje, de forma que todos los engranajes podían estar alineados y engranar a la vez sin transmitir movimiento. Entonces el eje tenía unas estrías longitudinales sobre las cuales se movían unos platos de garras que encajan con los engranajes y permitían transmitir el movimiento del engranaje al eje. Y se pensó en hacer otro prototipo que se asimilara a lo que se había visto en el vídeo, pero solo con dos marchas y de una forma simplificada:



Este prototipo permitiría cambiar de marchas sin problemas, si se hace a una velocidad no muy alta. Por otra parte, se complica el diseño del eje secundario porque los engranajes deberán tener unos orificios que encajen con las garras y estar asentados sobre unos cojinetes que permitan rodar libremente del eje. El eje también deberá tener unas estrías que servirán de carriles para que el plato de garras se deslice. Este diseño también implicará modelar un selector con otro eje liso asentado sobre rodamientos lineales y un sistema para moverlo y poder cambiar la velocidad.

A pesar de esto, se considera el prototipo más viable y se decide hacer este. En los siguientes apartados se explica cómo se plantea y se desarrolla este prototipo y las piezas que lo componen.

4.4. Diseño

Antes de empezar a modelar piezas se establecen unas pautas de diseño que determinen un método y unas reglas a seguir.

4.4.1. Pautas de diseño

- 1- La pieza debe cumplir **dimensiones** y **funciones** para el diseño.
- 2- **Estructuralmente** debe ser resistente y aguantar los esfuerzos que supongan la manipulación y funcionamiento de la pieza. A parte de introducir elementos estructurales no impresos en 3d, que se verán más adelante, una buena técnica para hacer más resistente la pieza es redondear los ángulos rectos ya que son puntos críticos donde suelen empezar grietas y fisuras.
 - Espesores mínimos de 4mm.
 - Redondeos en los ángulos rectos que soporten esfuerzos siempre que sea posible.
 - Cotas superiores a 2-3 mm.
- 3- Posibilidad de **imprimir** la pieza: Como las piezas que se diseñen, posteriormente se imprimirán en 3d, hay que modelarlas de un cierto modo para que luego queden bien impresas. Como se ha comentado en la parte teórica, una de las limitaciones de las

impresoras FDM es la geometría de la pieza. A continuación, se exponen algunos requisitos y condiciones que se han establecido en este proyecto en particular para que la pieza no tenga dificultades a la hora de ser impresa.

- Las piezas deben tener una superficie plana que será la base donde empezará la impresión.
- la superficie de impresión deberá ir de mayor a menor.
- evitar puentes (imprimir encima de un sitio que no tenga material debajo).
- evitar colocar los agujeros transversales a la dirección de impresión.
- limitaciones cama de impresión 200x200x180 mm.

4- Se ahorrará material en la medida de lo posible. Al **ahorrar material**, se reduce el volumen pero se aumenta la superficie impresa (es donde se extruye más material), hecho que lleva a incrementar el tiempo de impresión. Solo será útil hacerlo en piezas grandes donde se quite mucho volumen.

5- Por último, la pieza se hará lo más **estética** posible, aunque con los redondeos para hacerla más resistente ya queda un poco más trabajada.

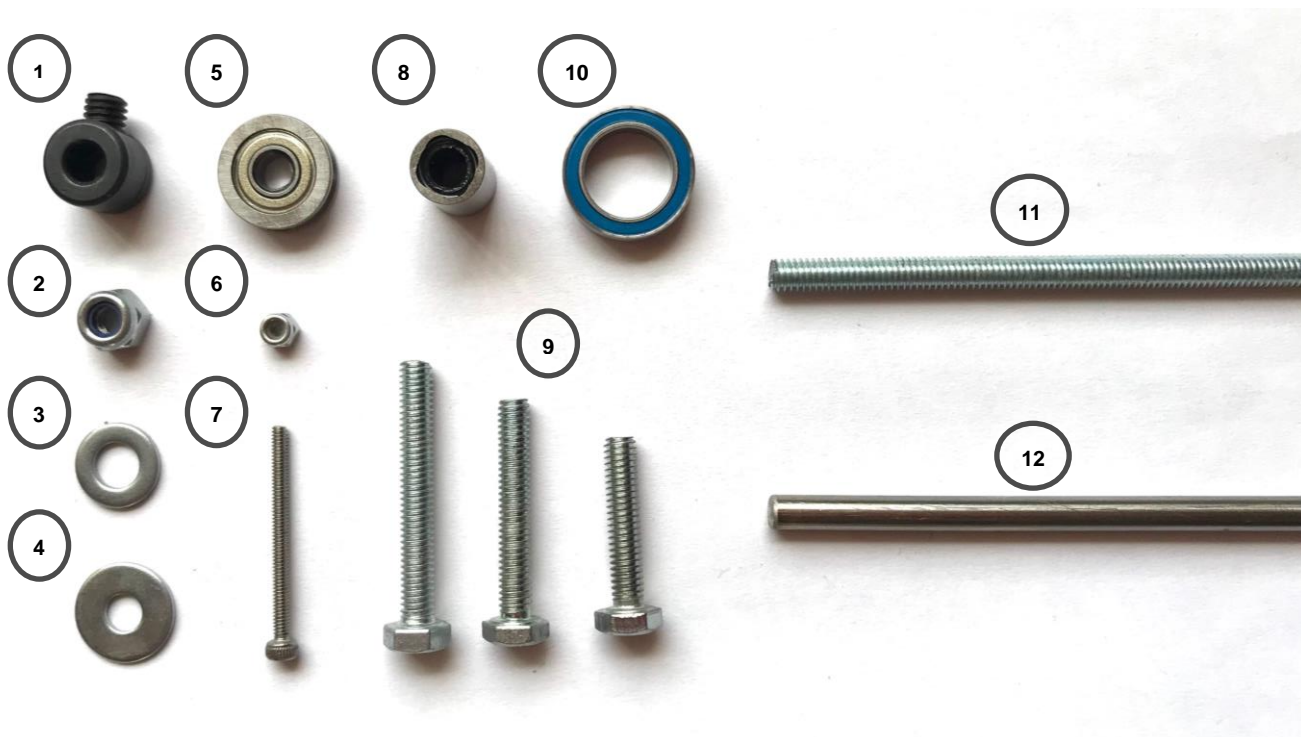
Si el diseño lo requiere se harán excepciones siempre y cuando se considere que la pieza se imprima bien y no se rompa a posteriori.

Hay que decir que al hacer estas pautas no se tienen en cuenta posibles opciones que tiene la impresión 3d seleccionada (FDM). Cómo por ejemplo son la utilización de soportes donde se aguante la pieza durante la impresión, porque complican mucho la impresión sin garantías de que quedara bien.

4.4.2. Elementos estructurales y/o funcionales

La intención del proyecto es hacer todo lo que sea posible impreso en 3d, pero se decidió incorporar algunos elementos estructurales y/o funcionales que no podían ser impresos en 3d y que eran esenciales para mantener las piezas correctamente en su sitio o bien para que giraran sin rozamientos.

Mas abajo hay ilustrado con una leyenda todos los elementos que incorpora la reductora en el primer diseño. Como son elementos que se van incorporando entre las piezas a medida que se va modelando la reductora, no se explicarán en este apartado las características y función de cada uno de los elementos, sino que se irá explicando a medida que se incluyan en el diseño.



11. Elementos estructurales utilizados en todo el conjunto de la reductora.

1. Locker para eje M4	5. Rodamiento 604ZZ	9. Tornillos M4 30, 25, 20 mm
2. Tuerca M4 autoblocante	6. Tuerca M2 autoblocante	10. Rodamiento 6700RS
3. Arandela M4 Dext 8mm	7. Tornillo M2 25 mm	11. Varilla roscada m4
4. Arandela M4 Dext 12mm	8. Rodamiento lineal LM4UU	12. Eje liso 4mm

4.4.3. Circuito eléctrico

A parte de las piezas impresas en 3d y los elementos estructurales, hay que añadir algunos otros elementos más complejos que permitirán que el primer engranaje del sistema (piñón) gire. Estos elementos van a ser como no un motor, un interruptor y una fuente de alimentación que de corriente al sistema. También será necesario un fusible para proteger el sistema, y algunos conectores para conectarlo todo de forma no permanente.

Motor: En un principio la idea era reciclar algún motor de impresora o algo parecido. Pero buscando un poco en internet, se encontró un sitio donde vendían unos motores que llevaban incorporado un reductor en su eje de salida. Este reductor previo conseguiría una baja velocidad de rotación ideal para este proyecto. Se escogió un motor que funciona sin carga a 12v y 100 mA consiguiendo una velocidad de rotación de 250 rpm. Las dimensiones son de 25 mm de diámetro y 52 de largo incluyendo el reductor incorporado. A la salida incluye un eje de 4mm biselado 10mm, ideal para las medidas de diseño de los engranajes.



Voltage		No load		Rated Load				Stall	
Range	Rated	Speed r/min	Current mA	Speed r/min	Current mA	Torque kg.cm	Power W	Torque kg.cm	Current mA
3-9V	6V	1363	80	954	380	0.1	1.05	0.35	1300
3-9V	6V	646	80	454	380	0.22	1.05	0.76	1300
3-9V	6V	281	80	196	380	0.5	1.05	1.7	1300
3-9V	6V	171	80	120	380	0.8	1.05	2.8	1300
3-9V	6V	133	80	93	380	1	1.05	3.6	1300
3-9V	6V	77	80	54	380	1.8	1.05	6.2	1300
3-9V	6V	58	80	40	380	2.4	1.05	8.2	1300
3-9V	6V	35	80	25	380	4	1.05	13.6	1300
3-9V	6V	26	80	18	380	5.2	1.05	18	1300
3-9V	6V	22	80	16	380	8.7	1.05	20	1300
3-9V	6V	12	80	8.5	380	11.5	1.05	20	1300
6-18V	12V	1931	100	1370	330	0.14	2	0.5	1500
6-18V	12V	915	100	640	330	0.3	2	1.06	1500
6-18V	12V	400	100	280	330	0.67	2	2.35	1500
6-18V	12V	250	100	175	330	1.1	2	3.86	1500
6-18V	12V	188	100	130	330	1.43	2	5	1500
6-18V	12V	108	100	76	330	2.5	2	8.6	1500
6-18V	12V	82	100	62	330	3.3	2	11.4	1500

12. Motor seleccionado y características

Sabiendo le velocidad del eje motor, se pueden calcular las velocidades del eje de salida de las 2 marchas que va a tener el reductor de las cuales ya se saben las relaciones de transmisión.

Marcha 1 (corta): $250 \text{ rpm} \times (1/4 \times 1/4) = \underline{15,625 \text{ rpm}}$ (Cada segundo 0,26 vueltas)

Haciendo la inversa de las vueltas por cada segundo se obtienen las vueltas que da en un segundo $\rightarrow 1/0,26 = 3,84 \text{ seg} \rightarrow$ tarda en dar **cada vuelta 3,84 seg.**

Marcha 2 (larga): $250 \text{ rpm} \times (1/4 \times 2/3) = \underline{41,667 \text{ rpm}}$ (Cada segundo 0,69 vueltas)

Haciendo la inversa de las vueltas por cada segundo se obtienen las vueltas que da en un segundo $\rightarrow 1/0,69 = 1,44 \text{ seg} \rightarrow$ tarda en dar **cada vuelta 1,44 seg.**

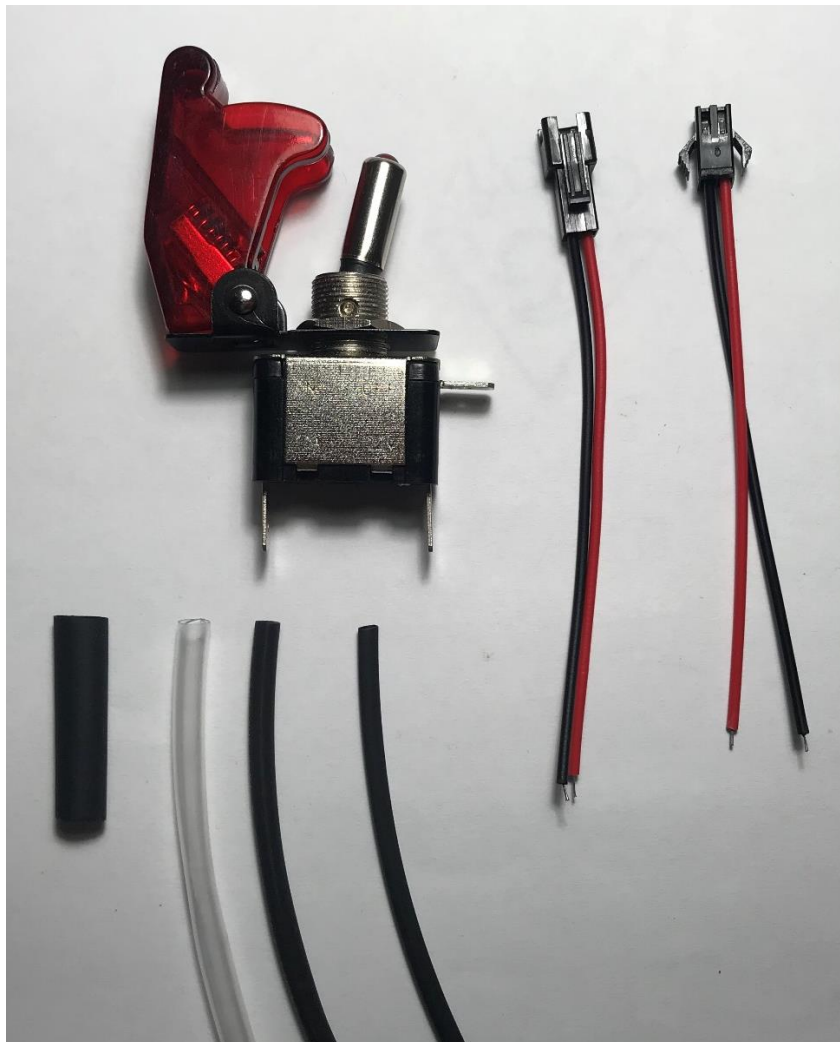
Fuente de alimentación: Rara alimentar el motor se utiliza un cargador reciclado el cual lleva un transformador que convierte la corriente de red doméstica a una corriente continua de 12v y 2A, que es ideal para el motor comprado.



13. Fuente de alimentación usada y características del transformador

Interruptor: Para controlar la activación el sistema se compra un interruptor panelable el cual lleva una tapa de seguridad.

Conectores: Por último, también se comprarán conectores de 2 vías panelables para poder conectar todos los elementos del circuito. Buscando por internet, se encuentran 10 parejas de conectores JST panelables que ya vienen con 90 mm de cable de sección AWG 22 cada uno. La sección del cable es bastante delgada pero como no hay que pasar ni un Amperio es más que suficiente. cómo el circuito eléctrico estará todo en un espacio pequeño no será necesario comprar más cable.

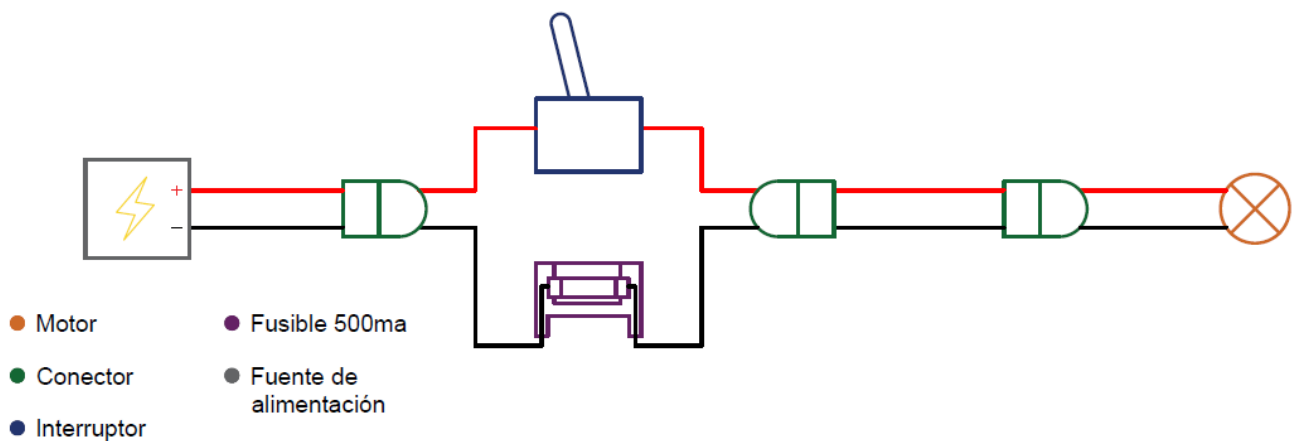


14. Interruptor y conectores usados. También se pueden ver los tubos termoretráctil usados.

Portafusibles: Para proteger el motor de una posible sobretensión a causa del bloqueo de un engranaje o bien de una sobrecarga se le añadirá al circuito un fusible de 0,5 A. Este fusible se colocará en el circuito mediante un portafusibles que no ha hecho falta comprar ya que se tenía de otro proyecto.

Esquema eléctrico

A continuación, se representa un esquema del diseño del circuito eléctrico con todos sus elementos mencionados anteriormente.



15. Esquema eléctrico del proyecto

4.3.4. Subconjuntos

A continuación, se explicarán los pasos que se han seguido para hacer el primer diseño de la reductora con cambio de velocidad. Se intentará explicar lo más ordenado posible y por subconjuntos que forman la reductora. Antes de empezar se debe comentar que es un proceso en que se dan algunas cotas iniciales, pero luego todas las piezas están en constante cambio, ya que cualquier introducción de una pieza nueva, o bien modificación de otra, conlleva adaptar la mayoría del resto piezas.

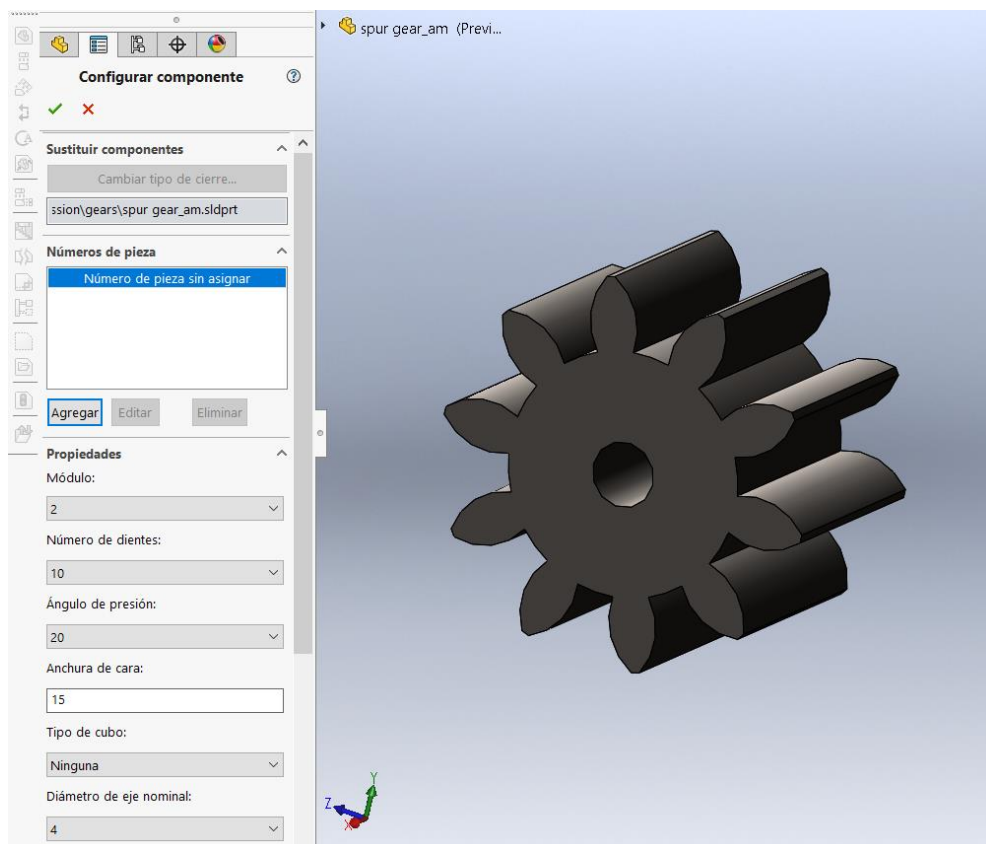
Engranajes

Los engranajes en sí no forman un subconjunto de la reductora, pero sí son la base de esta. Además, hay varios que tiene el mismo diámetro, es decir que parten de la misma pieza base, así que se va a empezar explicando el modelado de estas bases. Al tener claro el

módulo y el diámetro primitivo de todos los engranajes se decide modelarlos directamente con la opción ToolBox del SolidWorks.

Esta opción permite introducir los parámetros de los engranajes que se quieren modelar y te los hace automáticamente. Es una herramienta fácil de usar, que ahorra problemas de cálculos de ángulos de presión, diámetros, etc. y es una forma de modelar el engranaje muy rápida y sobre todo sin errores. Solo hay que introducir el módulo, el diámetro primitivo y el espesor del engranaje y te lo hace automáticamente. Este método es perfecto, pero tiene un pequeño problema fácil de resolver.

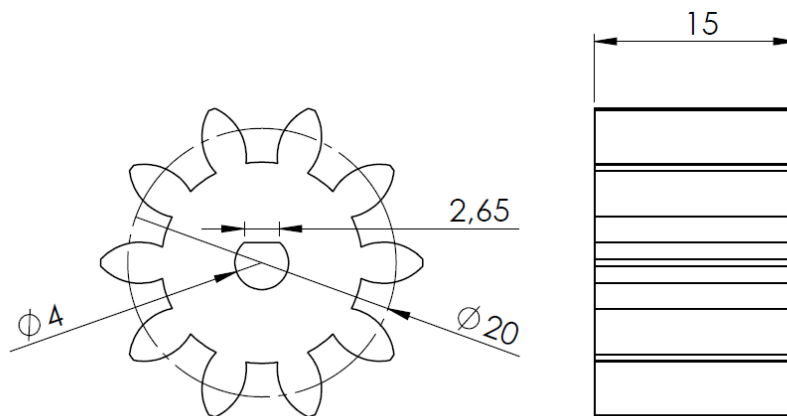
En el caso de este proyecto, al guardar los engranajes hechos con la herramienta ToolBox, lo hacía de una forma que luego no se podía editar la pieza. La solución fue pasarla a formato ".iges". Al guardar la pieza en este formato te hace un reconocimiento de operaciones que luego permite volver a editar esta pieza. Usando esta técnica, se conforman los cuatro engranajes vírgenes, todos de espesor 15 mm y de 20, 40, 60 y 80 mm de diámetro primitivo.



16. Realización del engranaje de 10 dientes con Toolbox.

Piñón

El piñón es el engranaje que va montado en el eje del motor. Partiendo del engranaje virgen de 20mm modelado previamente, es la pieza más rápida de hacer, ya que solo requiere una operación; un agujero pasante con la forma que tiene el eje biselado del motor seleccionado.



17. Vistas piñón.

Eje Primario

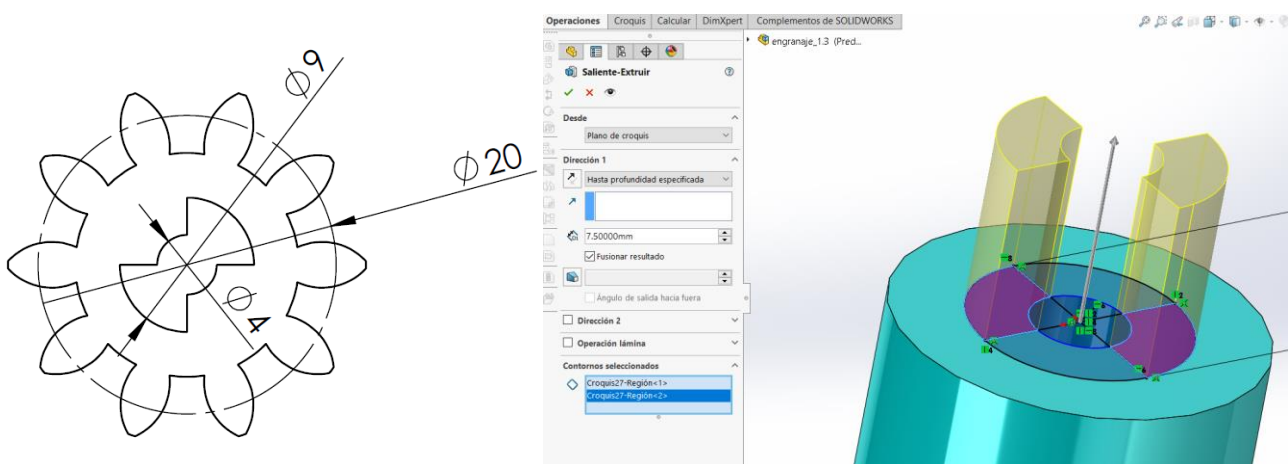
A partir de los engranajes de 80, 20 y 40 mm modelados previamente, se debía constituir el eje primario. Inicialmente se pensó en poner los engranajes atornillados en la varilla M4. Pero la varilla roscada debe ser un elemento estructural que haga de esqueleto, no el eje primario entero en sí. Así que se decidió que el eje primario estuviera constituido por un solo bloque impreso en 3d, suficientemente compacto para transmitir el par y la velocidad del piñón. A parte, sería reforzado por la varilla M4 que también ayudaría a girar mejor si se apoyaba en unos rodamientos.

El problema viene a la hora de imprimir una sola pieza con los tres engranajes, porque resulta imposible dada la geometría. Entonces se decide partirlo en varias piezas y hacerlo en tres piezas distintas. A los engranajes 1 y 3 (los de los extremos) se les acopló un cilindro de 20 mm de diámetro y con una longitud a medida que llegara hasta el engranaje 2. Estas dos cotas serían provisionales ya que tal y como se ha comentado anteriormente, cualquier modificación, en este caso del eje secundario harán cambiar esta distancia.

Por otra parte, estas 3 piezas deben encajar a la perfección para formar un solo bloque que pueda transmitir par de un engranaje a otro del mismo eje. Esto significa que entre el final de los cilindros y el engranaje 1.2 no puede haber 2 superficies planas, ya que esto no transmitiría bien el par. Pues deben encajar las 3 piezas para formar un solo bloque y que gire todo uniformemente.

El principal problema es que el engranaje 2 solo tiene 20 mm de diámetro primitivo y en medio debe llevar un agujero de 4mm para poder pasar varilla roscada de 4 mm. La solución de diseño inicial que se pensó fue hacer unos agujeros en el engranaje 2, con la misma forma que se harían unos resortes que salieran de la cara de los cilindros de los engranajes 1 y 3.

Estos resortes de longitud 7,5 mm encajarían en el engranaje 2 y lo traspasarían hasta la mitad, donde se encontrarían con los resortes del otro cilindro simultáneamente. Así que serían agujeros pasantes y no deberían tener problema al ser impresos por su geometría, aunque lo podría tener ya que deben ser agujeros y resortes de pocos mm de espesor.



18. Características solución unión de las piezas del eje primario.

Eje secundario

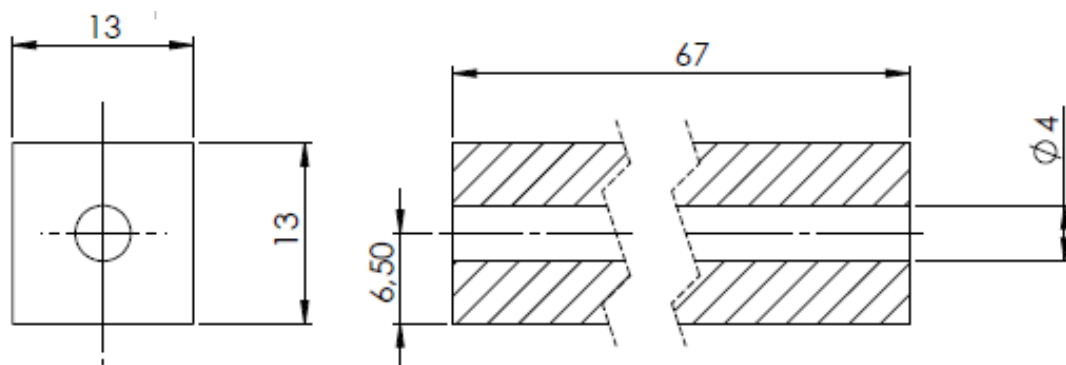
El Eje secundario es el subconjunto donde realmente se cambia la marcha. Es donde se asentarán los engranajes rodantes y encima del cual deslizará el plato de garras. Por lo tanto, en este apartado se explicará en que consiste el eje en sí, las piezas que formarían

un solo sólido, y luego se explicarán el resto de los componentes que formarían parte del conjunto del eje secundario.

Para empezar, se toma como referencia la distancia que hay entre los engranajes 2 y 3 del eje primario, toda esta distancia el eje secundario debe ser estriado para que cumpla la función de railes para que se deslice el plato de garras. Al finalizar las estrías debería haber unos topes que hagan de límite para el plato de garras y luego otros que contengan el engranaje rodante. Como el eje va a tener ranuras hacia dentro se debe dividir en varias partes ya que no va a ser posible imprimirlo de una sola pieza. Hay que hacerlo en cinco piezas de las cuales habrá tres de distintas: el eje en sí, donde se desplazará el plato de garras, un tope por cada lado porque el plato de garras tenga un límite donde moverse, y para acabar unos topes exteriores donde se asentaran los rodamientos que aguanten los engranajes.

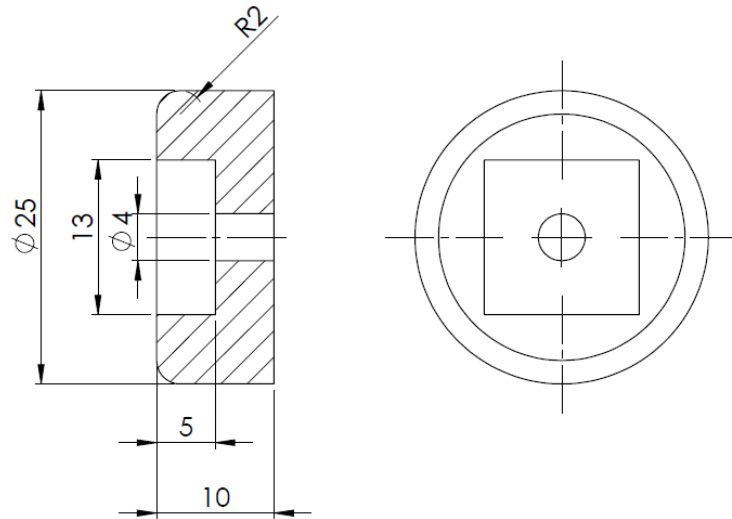
Eje: El primer diseño de esta pieza fue en forma de cilindro con estrías longitudinales, pero un poco más adelante se descubrió que este diseño se podía simplificar haciendo un eje cuadrado. La forma cuadrada se imprimiría mejor, no tendría tanta fricción como las caras de las estrías y podría encajar mejor con el plato de garras.

Además, si se tuviera que mecanizar porque rozan las caras en exceso, es mucho más fácil mecanizar una cara plana que una cara circular con estrías. Así pues, esta pieza constará de un eje cuadrado con un agujero de 4 mm en su parte central para que pase la varilla roscada que ensamblará el conjunto del eje secundario. El cuadrado exterior medirá 13 mm cada cara.



19. Vistas Eje Secundario.

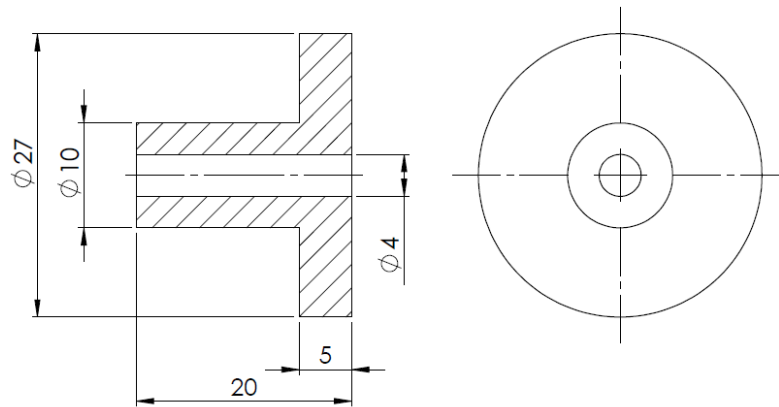
Tope interno: Consta de un cilindro de 25 mm de diámetro, con un agujero de 4mm en el centro para la varilla roscada. El espesor de la pieza es de 10 mm. En el lado que hace de tope para el plato de garras tendrá un agujero de 5 mm de espesor cuadrado de 13mm de cara para que se encaje el eje cuadrado y formen una sola pieza. Por el otro lado debe ser una pared lisa donde se aguantará el engranaje rodante.



20. Vistas Tope interno.

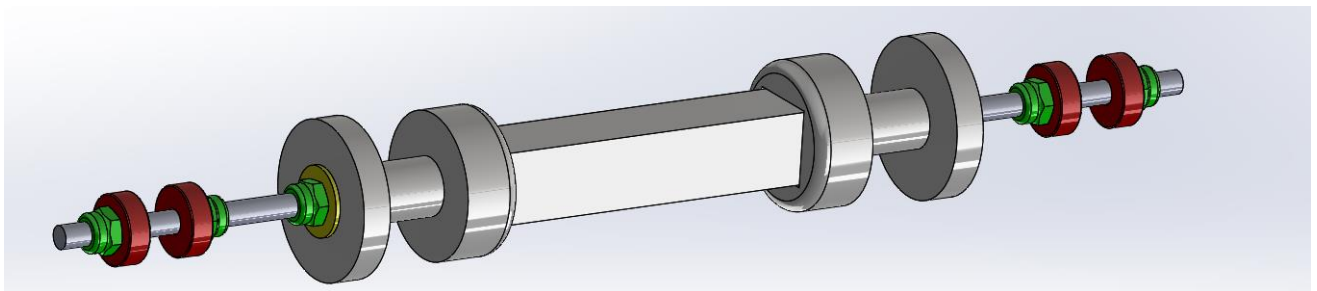
Tope externo: Por último, se modela un cilindro que sirva de eje para un rodamiento que hará rodar los engranajes que sea lo suficientemente grueso para estar agujereado y que pase la varilla roscada de 4mm.

Como se encontraron por internet unos rodamientos (fig.10) de diámetro interior 10mm (fig.10) el tope también se hizo de este diámetro. La longitud debería ser la misma que el espesor del engranaje, pero como no puede ir apretado ya que tiene que rodar libremente se le da medio milímetro de más. La última parte que queda más al exterior y hacia de tope para los engranajes el cilindro era de 15mm de diámetro y 4mm de espesor.



21. Vistas tope externo.

Con el eje y dos topes de cada se formaría el sólido que hace de base para el eje secundario. Se adjunta una imagen que ilustra todas estas piezas ensambladas. También hay ilustrados algunos otros elementos que formarán parte del eje en el conjunto como son rodamientos, tuercas y arandelas)



22. Conjunto eje secundario acabado sin plato de garras ni engranajes 4 y 5.

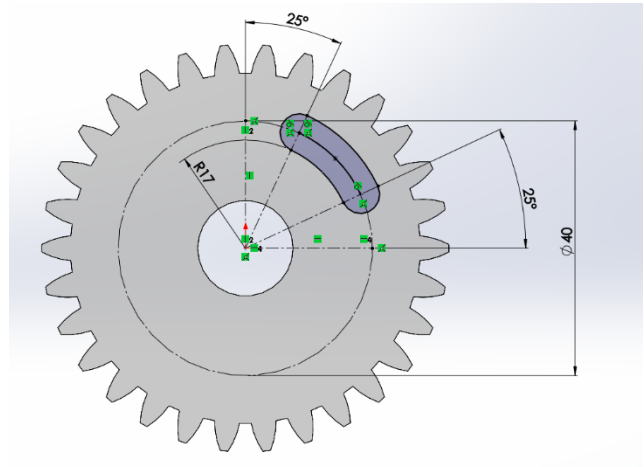
Engranajes 4 y 5

Antes de modelar el plato de garras, se modelan los engranajes del eje secundario (engranajes 4 y 5). Estas piezas se modelarán a partir de los engranajes de 80mm y 60 mm que se han modelado previamente y que son engranajes vírgenes. Los dos engranajes van a tener exactamente los mismos agujeros, ya que el plato de garras va a ser simétrico y va a ser igual por los ambos lados.

Los agujeros para las garras deberán albergar el diámetro más grande posible porque como se explicará más adelante, las garras deben ser lo más grandes y gruesas posibles

respetando las dimensiones del engranaje más pequeño, que en este caso es el de 60mm (Engranaje 5).

Usando la opción del Solid Works “ranura de arco” se harán cuatro agujeros de las siguientes dimensiones. Estas dimensiones tienen algo más de diámetro y de obertura que lo que tendrán las garras para que estas no tengan dificultades para entrar.



23. Cotas agujeros engranaje 5.

Una vez agujereado el engranaje, se hacen unos redondeos de 2 mm de radio en las aristas que forman los agujeros con la cara que entrarán las garras. Estos agujeros permitirán que las garras empiecen a entrar con facilidad cuando giren haciendo presión sobre la superficie del engranaje.

Por último, se hace un agujero central con un diámetro de 15 mm que es el diámetro exterior de los rodamientos de los engranajes (fig.10)



24. Engranaje 5 acabado en el 3d.

Plato de garras

Seguidamente, a partir de los agujeros en los engranajes, se modelará el plato de garras. Como debe llevar una ranura en medio de la superficie exterior para que el selector lo mueva longitudinalmente, tampoco se va a poder modelar de una sola pieza porque no se podría imprimir.

Por lo tanto, hay que hacerlo en tres piezas que luego deben ir ensambladas como si fuera una de sola rígida y compacta. Se modelará **un plato de garras para cada lado**, pero iguales entre ellos, y un **anillo central** que tenga un diámetro exterior más pequeño que hará de ranura para poder alojar el selector. Por la parte interior las 3 piezas tendrán un agujero coincidente que encajará perfectamente con el cuadrado del eje secundario.

La forma cuadrada del eje y del conjunto del plato de garras permitirá transmitir la rotación pero también que el plato se deslice longitudinalmente. Cualquier movimiento o vibración entre estas piezas podría provocar que las garras no entrasen correctamente en los engranajes o que el conjunto no deslizase bien, así que para unirlos se harán 4 agujeros transversales en las tres piezas que servirán para pasar 4 tornillos m2 (ver elementos estructurales fig.6 y fig.7 la tuerca) y así conseguir una sola pieza completamente uniforme.

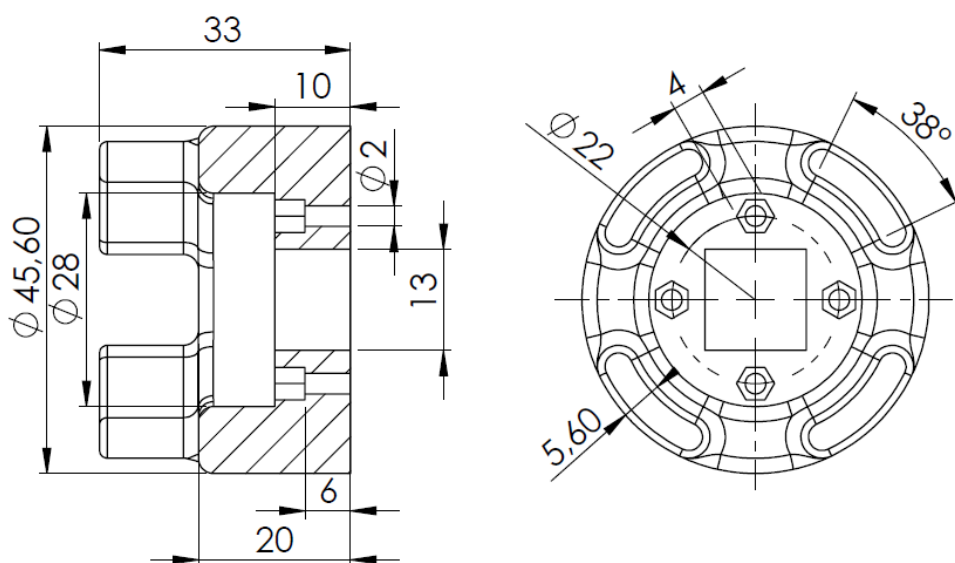
Plato de Garras: Esta pieza se modela adaptándose al eje secundario ya modelado. Como se trata de un cilindro se imprimirá des de una de las caras planas, en este caso la única plana será la cara que hará de ranura para el selector. El diámetro exterior de la base del cilindro serían unos 45,60 mm, que es mayor diámetro que se puede agujerear el engranaje de 60 mm. Este cilindro tiene en su centro un agujero cuadrado con las mismas dimensiones que el eje secundario y los agujeros para que pasen los tornillos M2.

Des de la superficie el plato tendría un espesor primero de 6mm para los agujeros de los tornillos y luego 4mm hasta la superficie para albergar los agujeros donde se esconderán la cabeza de los tornillos. Ni la cabeza ni la tuerca, por el otro lado, puede quedar a la superficie de la garra porque esta debe apoyarse en el tope interior del eje secundario, los tornillos dificultarían este apoyo. Así que se harán estos agujeros que tendrán la forma

hexagonal de 4 mm entre caras de hexágono, para que quede bloqueada la tuerca, pero pueda girar la cabeza del tornillo.

Después de este espesor aún queda superar el espesor del tope interno del eje secundario para llegar hasta la superficie del engranaje y ya se podrían modelar las garras que entraran hasta el engranaje. Las garras deberán ser suficientemente largas para llegar y penetrar en el engranaje y transmitir el movimiento, pero lo justo para no sufrir tensiones y roturas más por el impacto transversal del engranaje al entrar la marcha que por la transmisión del par. Es por eso, que se alargará todo lo que se pueda el cilindro del plato hasta que salgan las garras, que es hasta llegar a la superficie del engranaje. Así que se le da 10 mm de más de espesor al plato de garras con el mismo diámetro exterior, pero con un agujero interior de 28mm para respetar el espacio del tope.

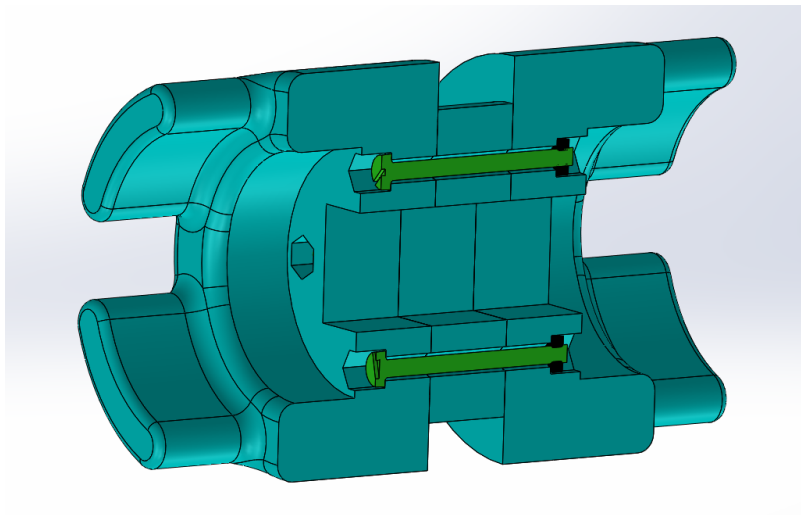
Seguidamente se harán cuatro garras. El motivo por el cual se hacen cuatro garras es porque como más garras, más fácil será entrar la marcha, pero deben caber y ser suficientemente anchas y gruesas para que no se rompan. Se seguirá el mismo croquis usado para hacer los agujeros de los engranajes 4 y 5 pero con las cotas un poco más reducidas. Se extrudirán unas garras de 13 mm de altura. En esta pieza es muy importante poner redondeos en aquellas partes donde se forme un ángulo recto p.ej.: aristas de las garras, unión garras con plato. Como se ha explicado en anterioridad, los redondeos ayudan a la repartición de las tensiones y hace la pieza mucho más resistente.



25. Vistas plato de garras.

Anillo central: Se hace una pieza cilíndrica de espesor 10mm, que es el mismo espesor que va a tener el selector, y de diámetro exterior 35mm. En las caras planas se le hará los 4 agujeros para pasar los tornillos M2 y el agujero cuadrado para que pueda deslizarse por el interior del eje secundario.

Al acabar este subconjunto y ensamblarlo en el diseño, resulta ser algo más largo de lo que se esperaba. Por este motivo se alarga el eje secundario hecho anteriormente, para que los engranajes 4 y 5 queden más separados y quepa el plato de garras entre ellos. Esto conllevará a alargar también el eje primario para que coincidan en posición el resto de los engranajes.



26. Corte transversal del subconjunto de plato de garras acabado.

Soportes

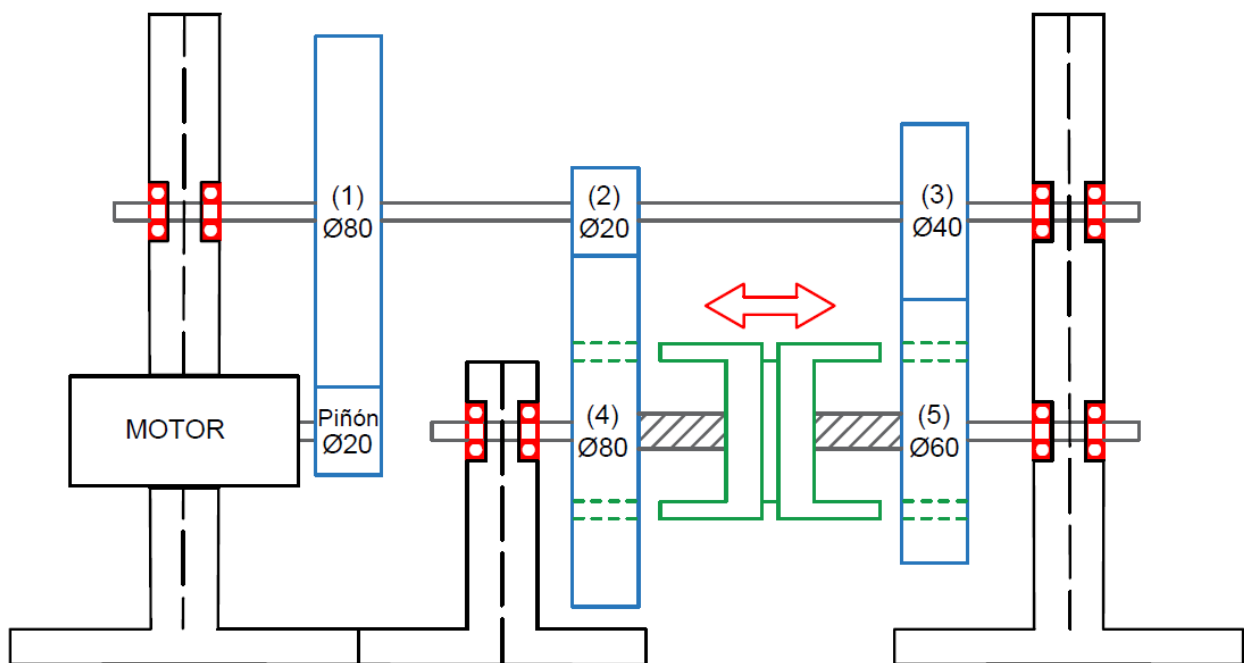
Una vez con los 2 ejes resueltos, se prosigue a pensar como sujetarlos. Inicialmente se modela una carcasa de 6 paredes con unos alojamientos para poner los rodamientos en ellas y poder albergar los ejes. Pero sería imposible de imprimir de una sola pieza debido a la geometría y a la envergadura de la pieza.

Se estudia dividirla en varias piezas ensambladas, pero también se descarta porque la unión no sería perfecta y no quedaría una estructura compacta, rígida y con las caras completamente paralelas. Además, lo estético de esta reductora en particular para este

proyecto sería ver el interior y el funcionamiento de todos sus componentes. Por todos estos motivos se decide descartar la idea de hacer una carcasa.

La segunda idea es hacer unos soportes verticales y paralelos para asentar los ejes primario y secundario. Además, puede incorporar otros orificios por donde pasar el eje o ejes para un selector de velocidades y otros ejes fijos para collar los soportes y que no tengan torsión ni movimientos.

Por otra parte, estos soportes nos pueden ser útiles también para albergar el motor que hará mover todo el sistema. Para que los soportes se aguanten verticalmente también se les hará una base por los dos lados así que cada soporte deberá estar dividido en 2 piezas iguales. Mediante el esquema utilizado anteriormente para explicar el prototipo 2, se hace un croquis añadiéndole todos los soportes que se considera que debe tener la reductora.

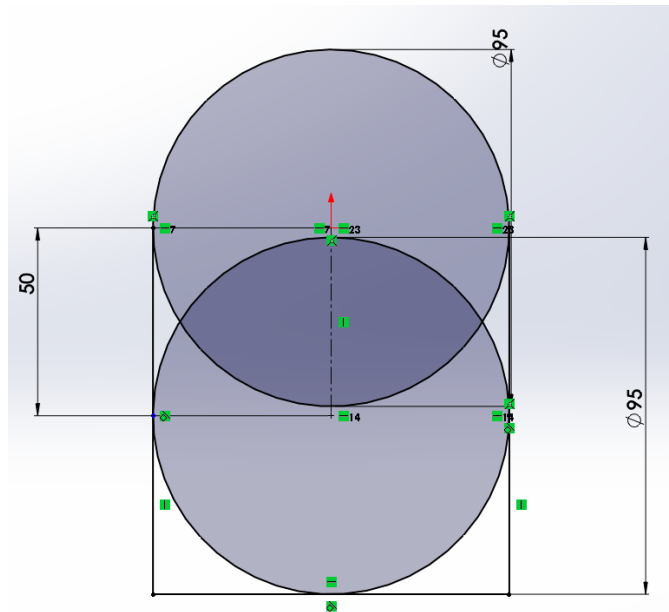


27. Esquema soportes.

Como se puede observar en el esquema anterior, se harán tres soportes distintos, formados cada uno por dos piezas idénticas: Soporte motor, Soporte no motor y Soporte eje secundario.

Es importante que las 3 piezas partan del mismo croquis para que las distancias entre ejes sean las mismas y los ejes queden perfectamente paralelos. De hecho, primero se explicará cómo modelar el Soporte No Motor, y posteriormente a partir de esa pieza y con tan solo algunas modificaciones se modelará el soporte motor. Luego se diseñará el soporte para el eje secundario que es algo más simple.

Soporte No-Motor: Los soportes no solo servirán para sujetar los ejes, cómo entre ellos se fijarán unos ejes que harán de exoesqueleto, estos deben albergar la proyección de los engranajes que hay dentro. Así que por aquí se va a empezar a diseñar el medio soporte. Para empezar, se dibujará el contorno de los engranajes más grandes que contiene el reductor (los dos engranajes de 80mm). Seguidamente, y con el mismo centro, se harán otras circunferencias 15 mm más grandes en ambas circunferencias. Cómo el soporte debe ser estable, necesita una base ancha y recta, por eso con las medidas de la circunferencia de abajo se harán 3 líneas rectas para que quede cuadrado de abajo.

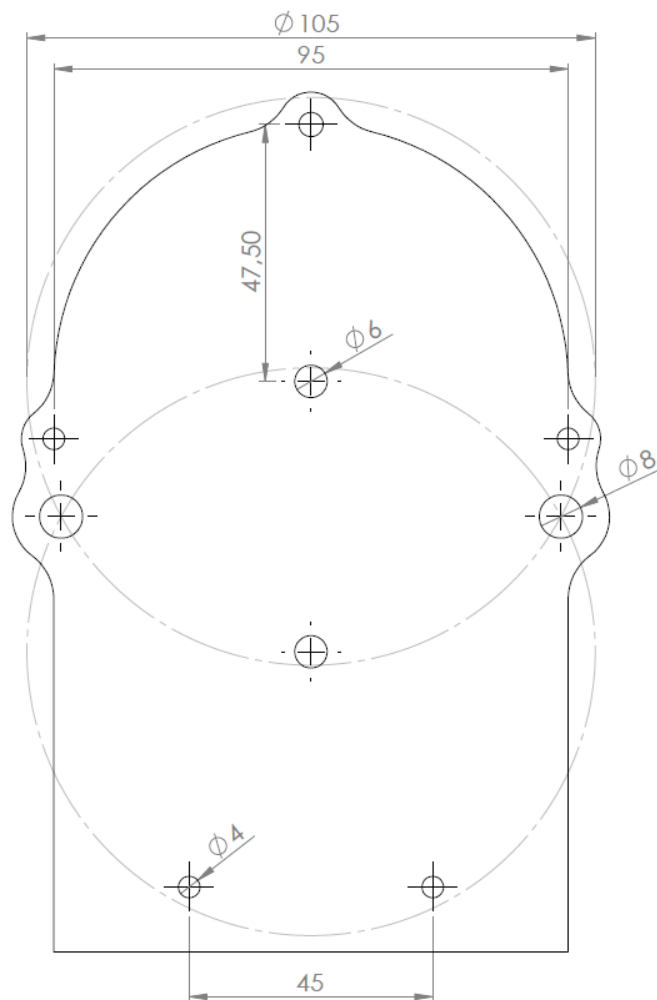


28. Primeros pasos para los soportes.

Seguidamente se harán los agujeros para los ejes, que serán algo más grandes que la varilla roscada porque este agujero no servirá para asentar el eje ya que los soportes llevarán rodamientos (fig.5) que harán esa función. También se modelarán unos agujeros para pasar un eje que tenga un selector. Se trata de un eje que no gire, sino que se va a mover perpendicular al agujero hacia delante y hacia atrás. Se usará un eje liso y no una varilla roscada, por eso se le harán unos agujeros al soporte de 8 mm, para que puedan entrar los rodamientos lineales (fig.8) que se situaran entre los 2 soportes y permitirán que el eje deslice sin fricción. En principio con un solo agujero bastaría, porque el diseño inicial solo llevará un eje para el selector. Pero como se quieren usar 2 piezas iguales para hacer un soporte, si solo se pone un agujero en un lado luego no cuadrarían al situarlos juntos. El hecho de tener dos agujeros puede servir si el primer diseño no funciona, y se necesita hacer un selector más grande con dos

ejes. Así no tendríamos que volver a diseñar e imprimir esta pieza en caso de que no funcionara con el diseño inicial.

Entonces también se hacen unos agujeros para pasar 5 varillas fijas que harán de exoesqueleto. Para los agujeros que se encuentran en la base, y serán comunes para los tres soportes, se modificará el contorno del soporte y se le dará un poco de altura al soporte para que queden en la base que es paralela al suelo que se hará posteriormente. Para el resto de los agujeros también se harán breves modificaciones en el contorno para que las varillas no pasen a escasos milímetros de los engranajes. El contorno de estos agujeros tendrá un diámetro de 12 mm para coincidir con el diámetro exterior de las arandelas (fig.4).



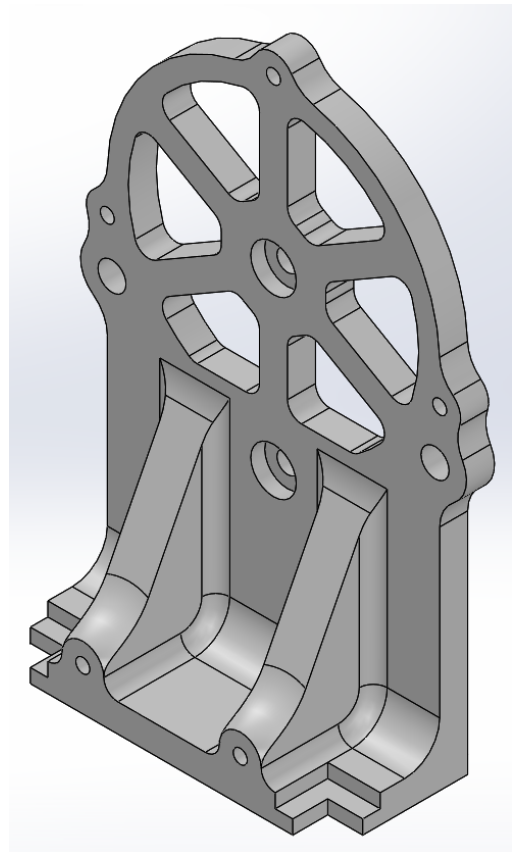
29. Cotas para los agujeros de los ejes.

En este punto ya se puede empezar a extruir el croquis, se le da 8 mm de espesor. Una vez extruidos los 8mm, se rebaja 4 mm en el centro de las circunferencias con un diámetro

de 13mm. Estos dos agujeros servirán para albergar los rodamientos para los ejes primario y secundario. También se extruirá una base perpendicular a la superficie que tendrá 8mm de espesor y sobresaldrá 32mm de la superficie. Esta base ayudará que el soporte quede completamente recto cuando se apoye en el suelo.

A partir de aquí, la pieza ya cumple con las funciones que debe realizar, pero el ángulo recto que se forma entre el soporte y la base de este es un punto frágil donde podría romper sin muchos esfuerzos. Por eso se le aplican dos nervios para hacerla más resistente y unos redondeos en los ángulos rectos que se formen. Estos nervios se colocan en la misma posición que los agujeros para las varillas fijas inferiores para que el agujero llegue hasta el límite de la base. Y para acabar de cumplir todas las pautas de diseño se intentará rebajar material haciéndole agujeros en la parte interior.

El hecho de ahorrar material no se puede hacer con todas las piezas, porque a veces al quitar volumen, se aumenta la superficie impresa. En el tipo de impresión 3d que se va a realizar dónde se emplea más tiempo y donde hay más material concentrado, es en las superficies. Por eso al quitar material de una pieza hay que analizar muy bien si realmente sale a cuenta o no, comparando los tiempos de impresión y el material extruido (más adelante se explicara como mirarlo).

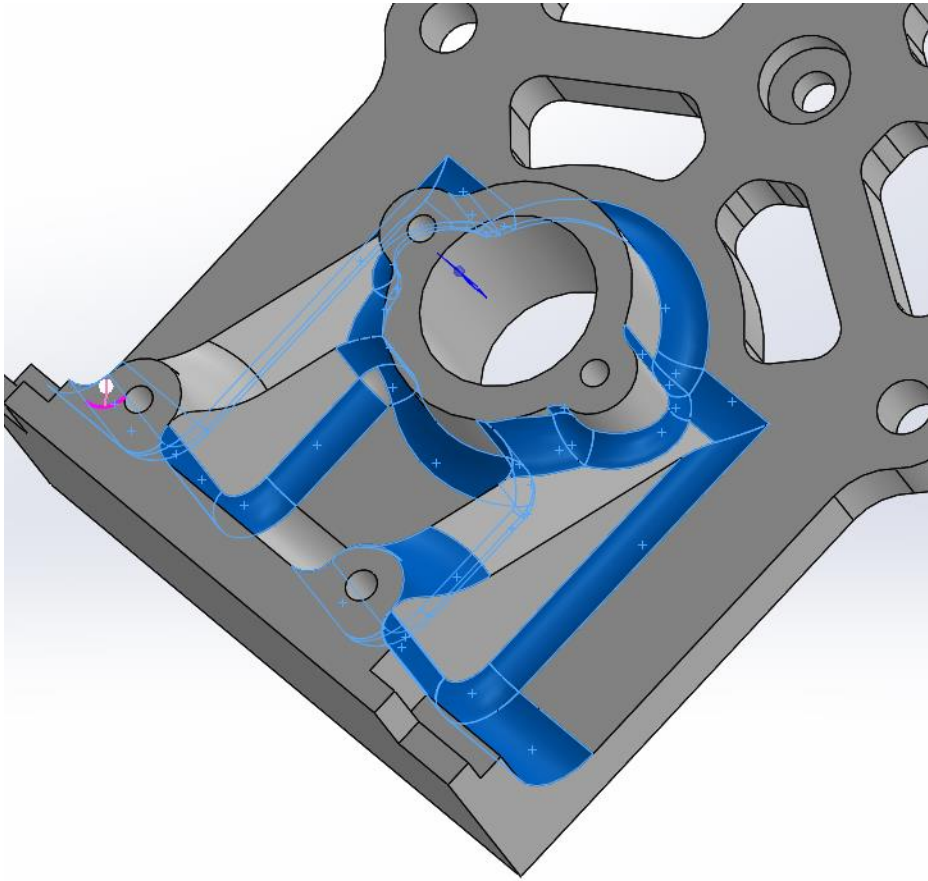


30. Soporte No-Motor acabado.

Soporte Motor: Tal y como se ha explicado anteriormente, esta pieza va a ser idéntica al “Soporte No-Motor”, pero en vez de tener un hueco para poner un rodamiento donde sentar el eje secundario, tendrá una cavidad donde posicionar el motor que se ha seleccionado para este proyecto en particular.

Partiendo de la pieza “Soporte No-Motor” y sabiendo las medidas del motor, se hará un agujero donde estaría ubicado el eje secundario con el mismo diámetro que el diámetro exterior de la carcasa del motor (25mm). Con esto bastaría, pero el motor quedaría poco sujeto al soporte y podría moverse cuando estuviera en funcionamiento. Por este motivo, y por un motivo estético de que no se desea que el motor quede a la vista, se le hará una carcasa integrada en el diseño del soporte. Para ello se va a centrar la carcasa del motor en el conjunto que formarían los dos soportes. Consiste en situar el punto medio de la carcasa en el mismo plano donde se juntarían los dos soportes.

Sabiendo que la longitud del motor es de unos 50 mm aproximadamente, si se sitúa la carcasa del motor entre los soportes, este ocupa 25 mm de cada soporte. Así que se extruirán 25mm de un cilindro alrededor del agujero de 25mm de diámetro con un diámetro de 35 mm para que quede una pared de 5mm de espesor. Esta carcasa contendrá toda la longitud del motor, pero para sujetarlo bien se harán unos agujeros para tornillo de M4 para poder poner unos topes en el lado donde irá el piñón y una tapa por la parte de detrás. Para hacer más resistentes y estéticas estas últimas modificaciones también se hacen unos redondeos a las aristas que se han formado.



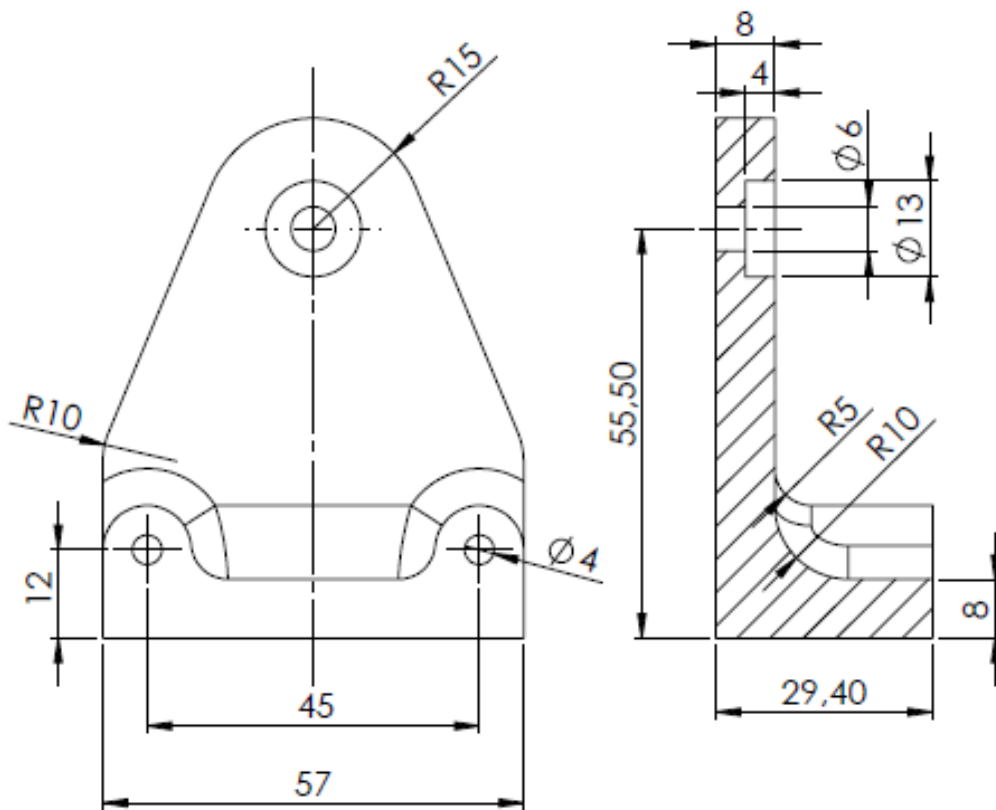
31. Soporte Motor acabado con los redondeos seleccionados.

Soporte eje secundario: El soporte para el eje secundario va pegado al Soporte Motor, por lo tanto, las medidas que vamos a tener en cuenta a parte de la altura que debe ir el eje secundario, son la distancia que tiene que haber entre la parte vertical del soporte y el piñón del motor, para que no queden demasiado pegados.

Con el motor y su piñón ensamblados con el conjunto del soporte en el 3d, se determina una distancia de 30 mm para la longitud de la base. La base se formará a partir del mismo perfil central con los dos agujeros que tiene la base del Soporte Motor, así cuando queden ensamblados los dos subconjuntos parecerán una misma pieza. Seguidamente se dibuja un croquis que empiece desde abajo con la anchura de la base, y sabiendo se le da una altura total de 70 mm que acaba con una forma redonda, y se le da un espesor de 8mm como el resto de los soportes.

En la posición del eje secundario, centrado en la pieza y a 55mm de altura, se repite la operación que se ha hecho en el Soporte No Motor para albergar el rodamiento. Por último,

se le aplica un redondeo a toda la arista formada por la base y la pared del soporte para hacerlo más resistente.

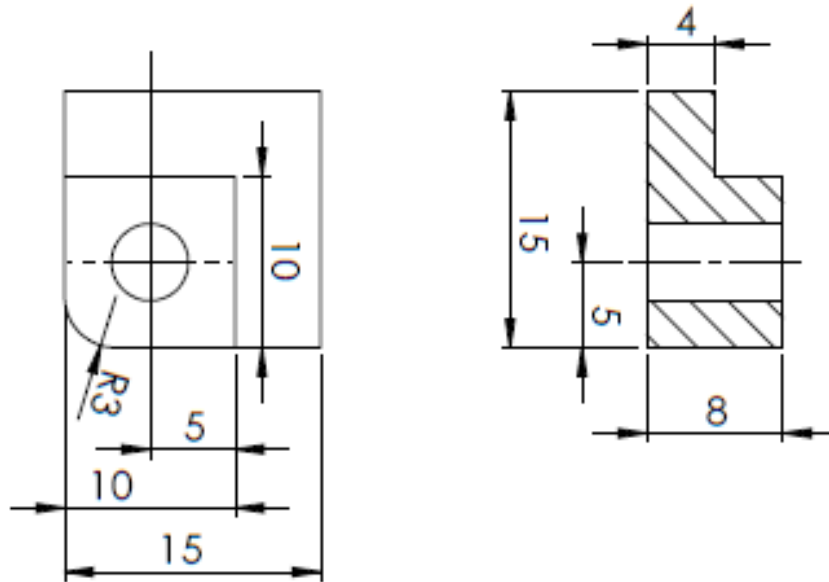


32. Vistas Soporte Eje Secundario.

Nota: La idea es fijar con unos tornillos la reductora a una superficie una vez esté acabada. Pero hacer agujeros en el diseño de la pieza en las bases va en contra de las pautas de diseño establecidas, porque estos quedarían impresos de lado. Aún que más adelante en alguna pieza se hará, no hay garantías de que estos queden correctamente impresos y estos agujeros deben aguantar toda la reductora. Así que se le harán unos agujeros coliseos en los extremos de los soportes Motor y No Motor para poder encajar unos anclajes que sí que tendrán los agujeros hechos correctamente. Se explica en el siguiente apartado

Anclajes: Esta pieza se explica en el apartado de los soportes porque aun que es una pieza a parte, los complementa y forma parte de ellos. Es más, el soporte se debe partir porque el agujero no puede ser impreso con garantías. Así que de los soportes se sacará un cuadrado con escalón del vértice de la base y de todo lo que se saque se hará una pieza con el mismo volumen y cotas que será el anclaje del soporte. Otro punto fuerte es que la

misma pieza sirve para todos los soportes, y en total el diseño alberga ocho de iguales, aunque más adelante se verá que dos anclajes van a ser innecesarios porque otros elementos se unirán al sistema usando estos agujeros.

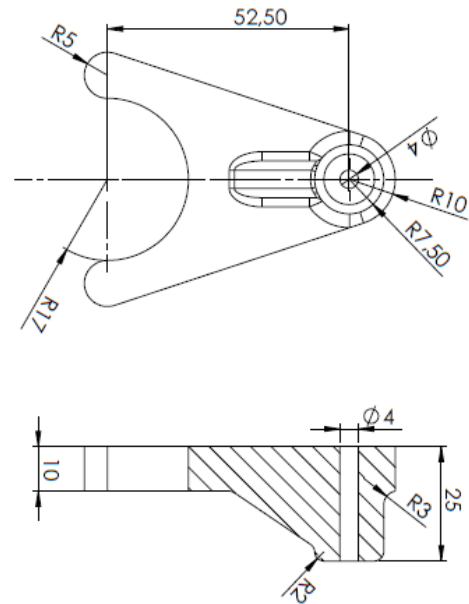


33. Vistas anclaje.

Selector

El selector es la pieza que conecta el eje selector con la ranura del plato de garras y acciona el deslizamiento del plato de garras para cambiar de velocidad. Esta pieza tendrá el mismo espesor que la ranura del plato para poder entrar en ella. Tiene dos únicas partes básicas para que cumpla su función: Un agujero de 4mm por donde pasa el eje transversal y un semicírculo que se adapta a la ranura circular del plato de garras.

La cota esencial para determinar el centro de estas dos circunferencias puede encontrarse haciendo cálculos de distancias de todos los sistemas, pero lo más fácil es medirla con el Solid Works en el ensamblaje 3d cuando hay todas las piezas en su posición. Por último, se le da algo de espesor a la parte por donde pasa el eje y para que no se doble y transmita bien el movimiento se le hace un nervio con redondeos.



34. Vistas selector

Palanca y Transmisor

Para accionar el movimiento hacia delante y hacia atrás del eje transversal selector, la primera idea fue hacer un pomo directamente fijado en el eje. Pero se quería hacer algo más parecido a la realidad, que pareciera un cambio de un automóvil o una maquina industrial, y se ideó un sistema un poco más complejo. Este sistema se basa en una palanca de cambios fijada a la base con un grado de libertad que hace mover a través de un tornillo otra pieza solidaria al eje selector.

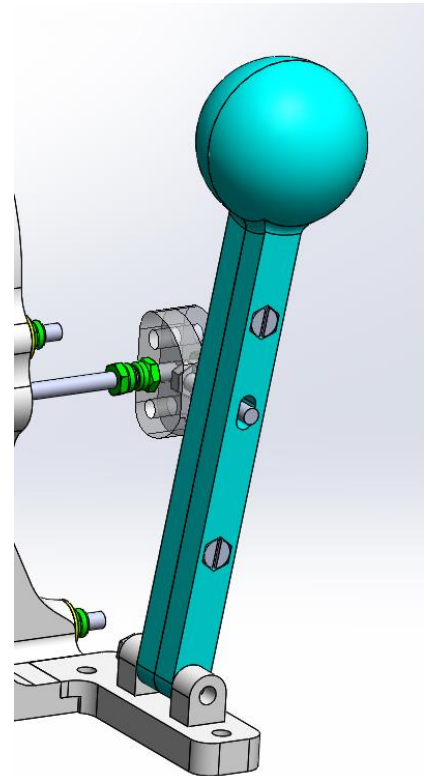
A continuación, se explica el diseño de las distintas piezas que forman este subconjunto.

Transmisor: A esta pieza se le ha llamado transmisor porque convierte el movimiento circular de la palanca a movimiento lineal para el eje, además es la pieza que hace de conexión entre el usuario y la máquina. Como debe albergar un tornillo en su interior debe

ser partida por la mitad y albergar la forma de la cabeza del tornillo en su interior y tener 3 agujeros que la traspasen, dos en los extremos para poder juntar las dos piezas con tornillos, y otro en el medio para pasarlo por el eje selector. En esta pieza, a parte del tornillo que se va a colocar entre las dos piezas (fig.9), también se va a usar los lockers para ejes de M4 para fijarla en el eje liso durante el montaje.

Palanca: Se trata de hacer un vástago de perfil rectangular con un pomo esférico en un extremo, y en el otro extremo un agujero pasante para poder ser fijado con un grado de libertad. Una vez más resulta ser una pieza imposible de imprimir y requiere partirla por la mitad y añadirle unos agujeros para poder juntar ambas partes con tornillos (fig.9). En la parte central tendrá una ranura por dentro de la cual pasará el tornillo que alberga el transmisor.

Soporte palanca: Aún que es la pieza donde va fijada la parte inferior de la palanca, es la última que se va a modelar. Pues de sus medidas dependen la posición final de la palanca y el recorrido que esta deberá tener. También es una pieza complicada de imprimir de una sola pieza así que hará una base que se hará a partir de un anclaje para que pueda adaptarse a uno de los soportes. Esta pieza tendrá dos agujeros para atornillarlo a una superficie y otros dos en los cuales van a encajar unas piezas con un agujero transversal que servirán para pasar un tornillo que aguante la palanca.



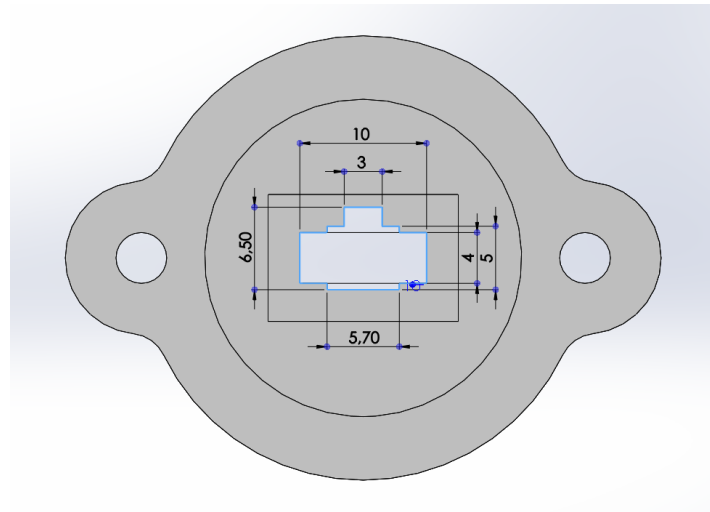
35. Palanca y transmisor acabados

Tapa Motor y Caja Instalación Eléctrica

Llegado a este punto del diseño, ya se ha modelado todos los elementos mecánicos necesarios para que la reductora funcione. Pero queda la parte más importante para que funcione, hacer posible que se active el motor. Por esto se va a modelar una tapa para el motor con un agujero para un conector JST, y una caja que se acoplará al soporte motor la cual se pueda montar el interruptor junto con el portafusibles y queden todos los cables

escondidos. Al menos una de las paredes de la caja deberá ser otra pieza para poder ser impresa.

Tapa motor: Sencillamente se trata de extruir el mismo croquis que usamos para hacer la carcasa del motor en el Soporte Motor 10 mm y luego hacerle una tapa plana de 4mm de espesor con un agujero para el conector JST panelable que va a tener las siguientes dimensiones.



36. Dimensiones agujero para el conector panelable.

Caja eléctrica: Se modela una caja con las dimensiones suficientes para situar el interruptor, el portafusibles y 2 de los conectores JST (uno para el motor y otro por la fuente de alimentación). Como la caja no puede ser impresa de una sola pieza, una de las paredes laterales y la pared posterior de esta, serán impresas a parte como una sola tapa. Para ello hay que dejar un espacio para que estas encajen y uno agujeros para unirlos con unos tornillos m3 (fig.9).

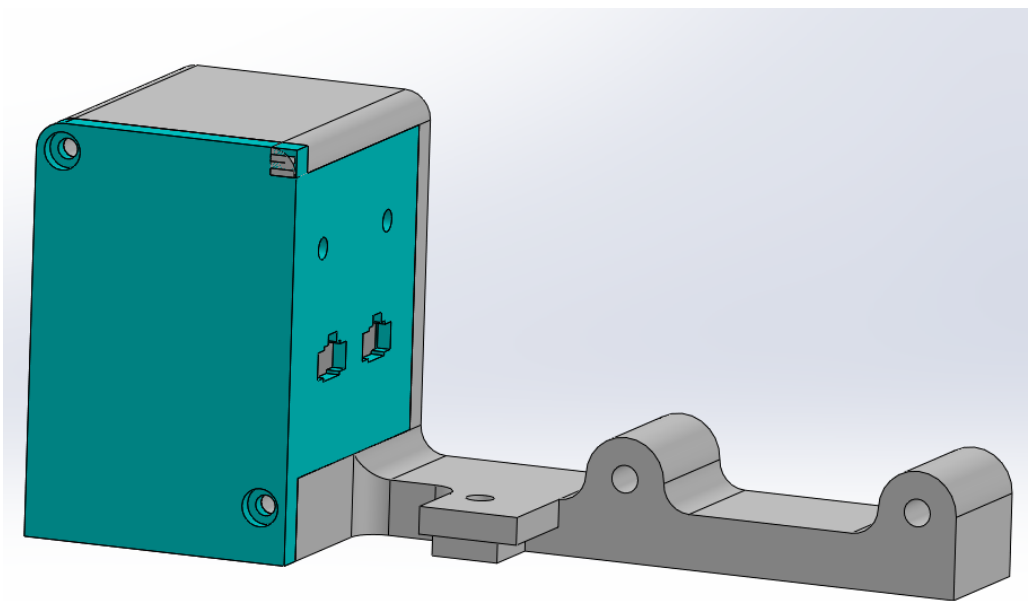
De la caja, sale una extensión con el mismo perfil que la base para poder estar unido al soporte de la reductora. Esta extensión también incorpora la forma de un anclaje para que todo el conjunto pueda estar fijado a una superficie. En la pared frontal de la caja, que es des de la cual se va a imprimir, se le hará un agujero de 12 mm de diámetro para colocar el interruptor.

El resto de los elementos (portafusibles y los dos conectores) se van a poner en la tapa que se hará posteriormente. Todas las paredes serán de 4 mm de espesor menos la pared frontal donde hay el agujero del interruptor que tendrá un espesor de 8mm requerido por el interruptor.

Tapa Caja eléctrica: Por último, la tapa que serán las 2 paredes de la caja que no se han modelado. Una de las paredes (la cara que se imprimirá apoyada en la cama de la impresora) tendrá 2 agujeros idénticos a la tapa del Motor para dos conectores JST, y otros dos agujeros de 3,2 mm separado entre ellos 23 mm para que entren las patas del portafusibles.

La otra cara será lisa pero tendrá los 2 agujeros para los tonillos m3 que estarán situados en la misma posición que se han colocado en la caja. Estos agujeros estarán en una cara que no se imprime apoyada a la cama de impresión así que no hay garantías de que queden bien, pero como solo son para aguantar la tapa se decide diseñar así.

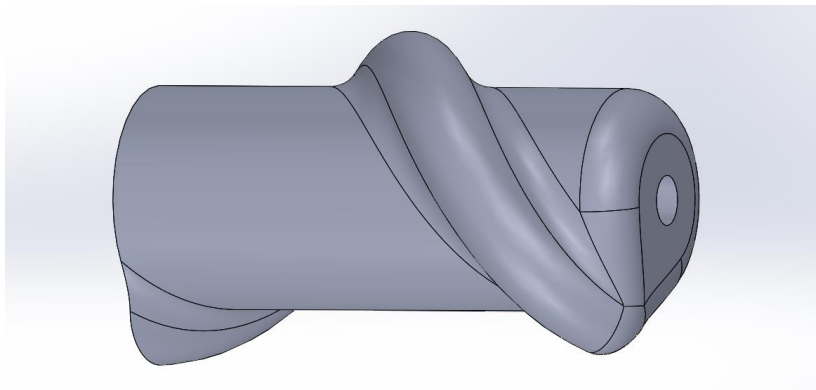
Por motivos de diseño, en esta pieza también se produce lo que se le llama un puente; cuando hay que imprimir en un plano que no hay superficie de apoyo debajo. Cómo es una sección de 4 x 4 mm muy pequeña, se decide rellenar ese vacío con unas laminas que una vez impreso se van a eliminar.



37. Caja eléctrica y tapa ensambladas.

Velocímetro

Este elemento no formaría parte del diseño en sí, pero se incluye en esta parte porque en este proyecto es una pieza que va ayudar a ver la velocidad de rotación del eje de salida. Se trata de un cilindro de 20 mm de diámetro y 50 mm de largo con una espiral extruida a su alrededor. Ayudará a saber la velocidad de salida del eje secundario. De hecho, se va a poder medir la velocidad de rotación sabiendo el tiempo que tarda en hacer un avance la espiral, que equivale al tiempo que tarda en hacer una vuelta.



38. Aspecto del velocímetro en el 3d.

4.4.5. Tolerancias previas

Una vez explicado todo el modelado de la reductora con cambio de marcha hay que decir que hasta ahora se han diseñado todos sus elementos a cota 0. Esto significa que en el caso que se imprimiera perfecto, las piezas que deben insertar unas dentro de otras lo harían y deslizarían a la perfección. Pero hay que saber que no va a ser así, y aun que se cuente con la ayuda de herramientas como limas para rectificar las piezas una vez impresas, se van a dar algunas tolerancias en las siguientes partes del diseño para evitar tener que limar más de la cuenta.

Agujeros: Es donde hay que dejar más tolerancia ya que la impresora suele imprimir los agujeros mucho mas pequeños de lo que son, y como mas pequeños más error. Para los agujeros de 4 mm se le dará +0,5 mm, y para los de 2mm se les dará +0, 7mm.

Selector: Para que no haya ningún problema con el selector y la ranura del plato de garras se le quitará -0,3 mm de espesor al selector y la circunferencia que se acopla a la ranura será +0,6 mm más grande.

Plato de garras: Al agujero cuadrado del plato de garras por donde va a pasar el eje secundario se le dará +0,3 mm más de ancho de cara tanto en el plato de garras como en el anillo central.

Tope Exterior: Al tope exterior del eje secundario también se le dará +0,5 mm de longitud para que al apretar el eje los engranajes 4 y 5 rueden sin quedar comprimidos.

4.5. Proceso Impresión 3d

El proceso de impresión 3d no es darle a un botón y todo funciona a la perfección, y menos en este proyecto en particular. Ha sido un proceso de muchas horas que no solo ha consistido en imprimir las piezas modeladas, ha habido mucho trabajo previo preparando la impresora que se ha prestado para imprimir y modificando los parámetros una y otra vez para que imprimiera correctamente. Vamos a empezar este gran apartado del proyecto hablando de la impresora que se ha utilizado.

4.5.1. Impresora utilizada

Tal y como se ha explicado anteriormente, la impresora utilizada, es una impresora FDM que tenía un amigo y que él ya advirtió que no imprimía bien. Veamos los datos técnicos de la impresora y a continuación se explicará cómo funciona y cuál es el proceso para imprimir.

Modelo: **Wanhao Duplicator i3 V2.1**

Volumen impresión: 200 x 200 x180

Extrusores:1

Resolución de capa 0,1 – 0,4 mm

Velocidad de impresión 10-100 mm/s

Temperatura de cama 40-60 °C

Temperatura de la boquilla 180 – 240 °C

Materiales PLA, ABS, y otros

Diámetro hilo 1,75 mm

Diámetro de la boquilla 0,4 mm

Conexiones USB, Tarjeta SD

Precio: 300 €

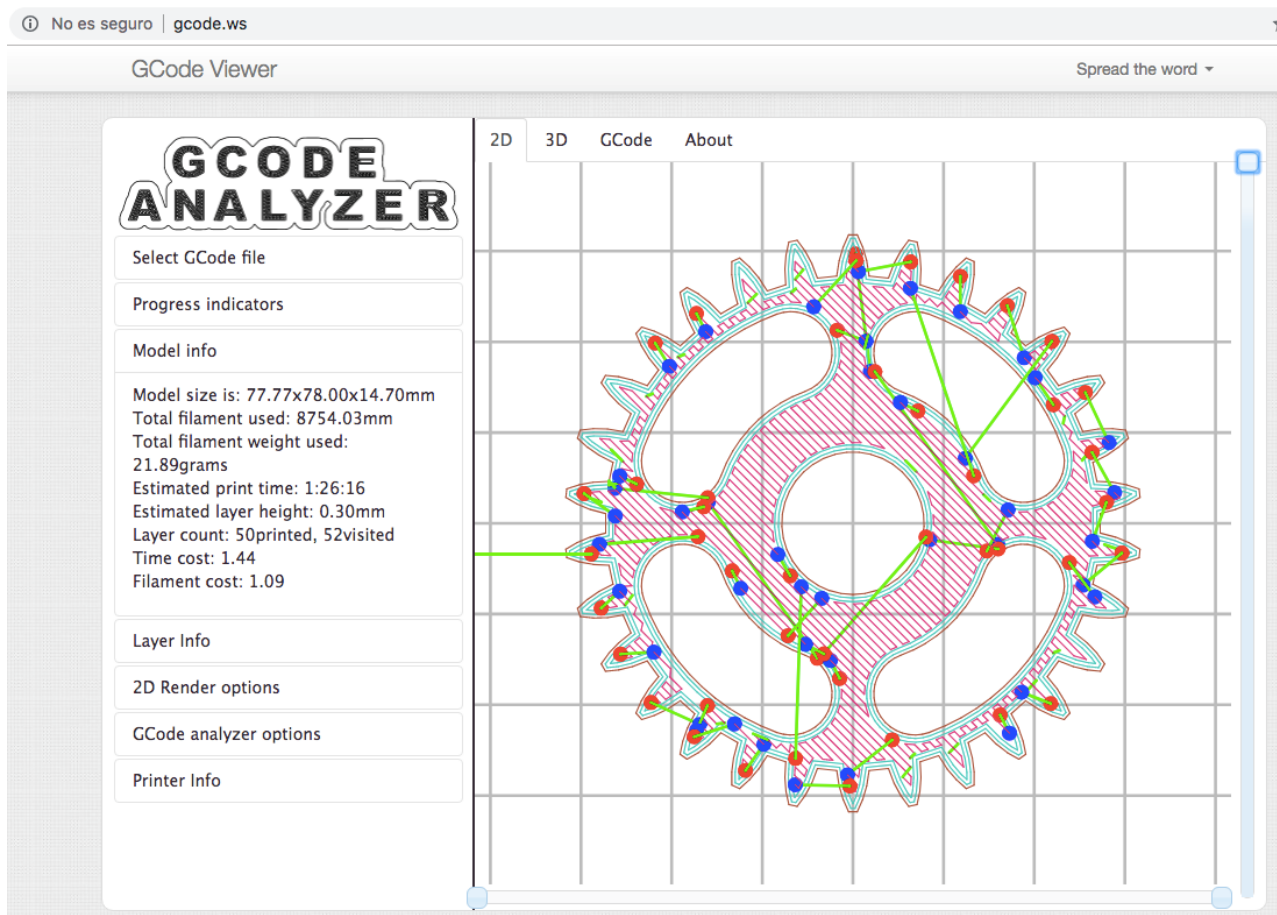


39.Modelo impresora utilizada

Se trata de una impresora con una buena relación calidad-precio, ideal para personas que se inician en el mundo de la impresión 3d ya que es simple y fácil de usar. Cuenta con un dispositivo que incluye una pantalla de 3,25" des de donde se puede gestionar todas las acciones de la impresora, y mientras imprime ver información de las temperaturas del extrusor y la cama o el % de pieza que lleva impreso. Para imprimir, el extrusor se mueve en el eje X y Z y la cama se mueve en Y. La inclinación de la cama se regula con unos tornillos.

Para imprimir con esta impresora hay que guardar la pieza 3d en formato “.stl”, seguidamente hay que introducir el archivo a un programa para que te haga el código para imprimir (gcode). El código contiene toda la información de los movimientos y los parámetros de la impresora para imprimir la pieza. Hay dos programas que funcionen bien y son gratuitos, uno es CURA y el otro es SLIC3R. En esto proyecto se usó SLIC3R. Con el programa creas un archivo “.gcode”, que se introduce en la impresora mediante una microSD y ya se puede imprimir. Hay la posibilidad de analizar el código antes de imprimir

y comprobar que esté correcto utilizando el siguiente portal online: <http://gcode.ws/>. Este portal te da información de la pieza que analices, y se pueden ver todos los movimientos que hará el extrusor. Durante el proyecto ha sido muy útil para detectar antes de imprimir algunos códigos que no estaban bien guardados y se quedaban a medias. También ha sido súper útil para saber los tiempos de impresión de las piezas antes de imprimir y los metros de filamento que se usan para hacer cada pieza.

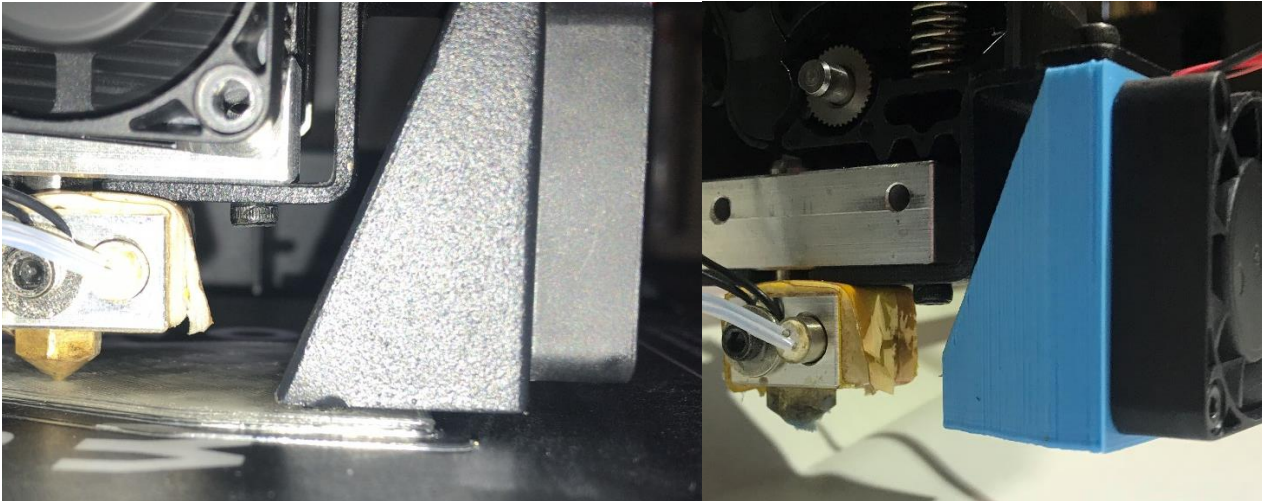


40. Análisis de una pieza con Gcode Analyzer.

4.5.2. Puesta en marcha de la impresora y acondicionamiento

Antes de poner en marcha la primera impresión se observó que el ventilador de capa estaba montado del revés. Se trata de un ventilador que refrigera lo que el extrusor expulsa para que se solidifique rápidamente, va montado en un soporte que canaliza el aire. Se monta correctamente, pero se observa que el soporte toca con la superficie de la cama caliente, hecho que hará que se lleve las caras impresas durante la impresión. Sabiendo que no es un elemento imprescindible para la impresión se desmonta y el problema se aparcará hasta

que se pueda imprimir en 3d un soporte que no toque la superficie. Aun que se haga más adelante se explicará en este apartado porque también es acondicionamiento de la impresora. Cuando la impresora ya funciona bien se diseña y se imprime un soporte parecido al que lleva la impresora pero que no roce.



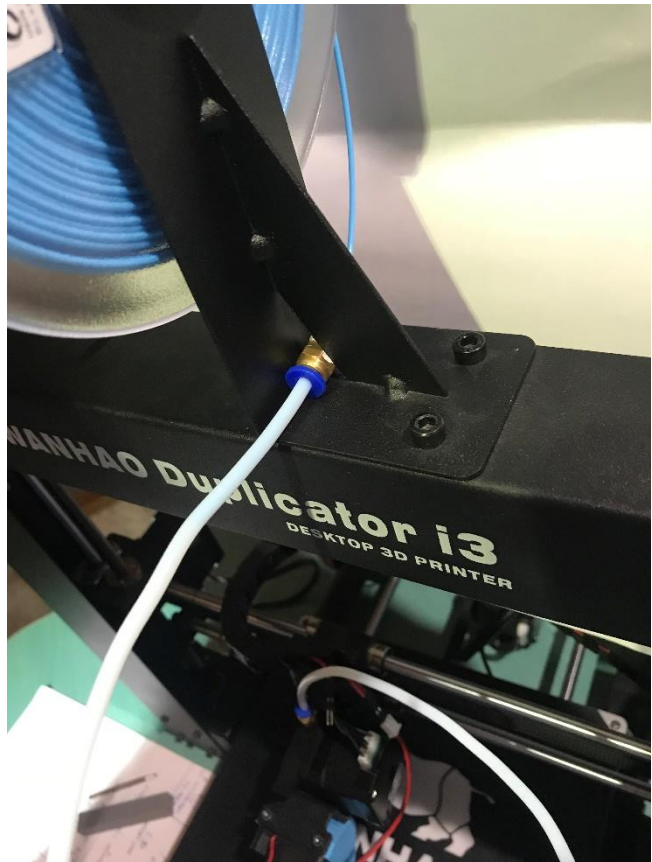
41. Comparación soportes ventiladores de capa (el de serie vc. el diseñado)

Seguidamente, se procedió con el nivelado de la cama de impresión. Se trata de ir moviendo el extrusor por los extremos de la cama con el extrusor a cota 0 en Z y la impresora parada. Con un papel en la cama se trata de ir ajustándola de tal manera que el papel solo roce. De esta forma se consigue una cota casi nula ya que el papel tiene un espesor de algo más de una décima de milímetro. Mientras se está ejecutando este procedimiento se observa que de un lado hay que subir mucho más que del otro. Investigando un poco, se descubre que de un lado la impresora está más alta que del otro. Se desmonta y se vuelve a montar con los tornillos en la posición correcta de ambos lados. Se nivela bien la cama y se prueba la impresora con una pieza pequeña de no más de media hora.

La pieza se imprime con algunos defectos, pero se observa que al acabar de imprimir el eje transversal que aguanta la impresora vuelve a estar desnivelado. Se investiga más a fondo, y después de un rato de observar, mirar y probar, se descubre que uno de los ejes que al girar hace subir y bajar el eje Z no está bien fijado. El extrusor se mueve verticalmente en Z gracias a dos ejes roscados que giran a la vez. La unión de uno de estos ejes con su respectivo motor está floja, y según como, el motor patina al girar y no hace mover el eje. Esto provoca que solo suba de un lado y todo el eje del extrusor quede torcido. Visto el

problema, se aprieta esta unión y se revisan el resto de los tornillos de la impresora, que alguno que otro también resultaba estar bastante flojo.

Otro de los problemas que se observó en la primera impresión es que cuando el motor del extrusor gira y hace bajar el filamento del rollo, se provoca una tensión hasta que el rollo de filamento gira y hace que el extrusor suba unos milímetros. Esto se traduce en pequeños errores a la superficie de la impresión. Pregunté por este problema, y Rafael Weyler, el codirector del trabajo, me recomendó que instalara un tubo de teflón antes del extrusor.



42. Tubo de teflón instalado.

Esta técnica es muy común en impresión 3d y se trata de poner un tubo de teflón sujetado con dos válvulas, una sujeta al extrusor y otra sujeta a un lugar de la impresora. Se compraron los elementos y se instalaron para que no hiciera más tirones. Al desmontar el extrusor para poner el tubo, también se observó que faltaba un tornillo de los dos que aguantan el motor del extrusor en su lugar. Este hecho seguramente también provocaba irregularidades en la impresión no deseadas. Se compraron unos cuantos tornillos M3 que también no servirán para alguna parte de la reductora más adelante.

Con todo esto, la impresora se volvió a probar con una pieza más grande, y parecía que funcionaba bien hasta que de repente mientras funcionaba dejó de extruir material. Se había obturado, era el problema que el propietario me había comentado que le ocurría. Sacando el filamento, se observaba como el filamento se había fundido antes de entrar en el extrusor, seguramente por una alta temperatura.

Investigando un poco me di cuenta de que el ventilador que refrigera el extrusor no estaba encendido constantemente. Desconectando los cables y conectando los que estaban

enchufados previamente al ventilador de capa sí que funcionaba. Efectivamente los cables estaban invertidos y al no refrigerarse el extrusor se calentaba y se obturaba. A partir de aquí la impresora ya no dio problemas graves y se empezaron a imprimir piezas con algunos defectos que otros que a continuación se explicará.

4.5.3. Defectos de impresión

Cada impresora funciona a su manera con el filamento que imprima, así que es normal que al principio siempre imprima con defectos. Poco a poco hay que ir ajustando los parámetros de impresión para ir eliminando estos defectos. Lo recomendable es variar gradualmente solo un parámetro para ver la diferencia, si se intenta cambiarlos todos de golpe es posible perderse.

Cada defecto tiene varias causas que van asociadas a una solución. Primero veamos algunos de los parámetros que se pueden controlar desde el programa SLIC3R, y luego se pasará a explicar los defectos y que parámetro modificar para solucionarlo.

Parámetros: Prácticamente se pueden tocar todos los parámetros, pero se citarán los más comunes

Temperatura de extrusión: Temperatura a la cual se funde el filamento

Temperatura de la cama: Temperatura que se encuentra la superficie sobre la cual se imprime, al estar caliente se pega más fácilmente el material.

Velocidades: Velocidad de impresión. Hay hasta diez velocidades que se pueden modificar dependiendo de la fase de impresión o movimiento que ejecute. Las velocidades pueden oscilar entre 10mm/s a 60mm/s.

Retracción: Es un parámetro que tiene la impresora para no extruir material mientras se desplaza de una superficie a otra. El motor del extrusor gira al revés y retrae el filamento. De esta forma corta la extrusión unos instantes.

Espesor de la capa: Espesor en Z de cada capa de impresión.

Defectos y soluciones

Extrusión de poco plástico: El conjunto del extrusor extruye menos plástico de lo necesario para rellenar el área determinada a imprimir. Esto puede ser debido a que se utilice un diámetro de filamento equivocado, pero también es normal que pase estando todo correctamente.

Solución: Variando la opción “Extrusion multiplier” se puede ajustar la cantidad de plástico que se extruye para cada impresión. Este parámetro suele estar a 1, sin embargo si en la pieza se pueden ver agujeros o bien que de vez en cuando quedan lágrimas en la pieza, se puede ajustar este parámetro entre un 5% y 10% para que no haga estos defectos.

Pizas impresas con hilos: la pieza se imprime correctamente, pero el extrusor deja hilos al pasar entre superficies no impresas. Este defecto puede ser debido a varios parámetros como pueden ser: altas temperaturas del extrusor, parámetros de retracción o grandes desplazamientos del extrusor. Aun que es un defecto a simple vista muy visible, es un defecto aceptable si ocurre en magnitudes pequeñas ya que al acabar la pieza se pueden retirar los hilos y la pieza queda bien.

Solución: Cómo puede ser debido a varias cosas también varios parámetros a tocar para solucionarlo:

- Regular temperatura de extrusión
- Regular la retracción y la velocidad de retracción
- Opción “Avoid Crossing Perimeters”, cuándo se activa el extrusor no cruza a través y solo pasa sobre superficies impresas, de esta forma deja hilos pero no son visibles porque luego se imprime encima.

Relleno mal hecho: Las capas de relleno que se van depositando no se unen correctamente y forma una estructura compacta. Este defecto también ocurre cuando ocurre la extrusión de poco plástico. A parte de eso puede ser culpa de otros parámetros como la velocidad de relleno o bien el patrón de relleno.

Solución: A parte de las soluciones propuestas para la extrusión de poco plástico es aconsejable reducir sustancialmente la velocidad de relleno y si no funciona cambiar el patrón de relleno.

Separación de capas: Las capas de la pieza no quedan ben unidad entre ellas.

Solución: Verificar que la altura de la capa no es el 80% del diámetro de la boquilla. En caso contrario, variar esa altura para que no lo supere. Si se esta imprimiendo a una altura de capa correcta es posible que lo que suceda es que la temperatura de extrusión sea demasiado baja o bien que el eje Z esté desalineado.

Warping: las partes exteriores de la pieza se doblan y se levantan a causa de la contracción por el enfriamiento del material. Suele pasar con piezas de gran envergadura o bien si no se usa cama caliente.

Solución: Evitar corrientes de aire y deshabilitar el refrigerador de capa durante la primera capa. Imprimir sobre una superficie caliente que este limpia. A ser posible utilizar 3DLac (producto que hace unir mejor la primera capa a la base de impresión). También se podría precalentar la superficie previamente o bien utilizar una cúpula sobre la impresora para tener un mayor control de temperatura.

A pesar de todos los defectos, se fueron modificando varios parámetros y al final se encontró la combinación para imprimir correctamente sin muchos defectos.

Con estos parámetros se imprimieron todas las piezas, pero hubo algún problema con algunas piezas que no era culpa de la impresión sino del diseño.

4.5.4. Problemas con algunas piezas del diseño inicial

Se imprimieron todas las piezas con los parámetros fijados anteriormente, y aun que ya no hubo defectos, hubo algunas piezas que no se imprimieron bien a causa de su geometría.

Eje primario: Aun que la solución de diseño para encajar las tres piezas parecía buena sobre el papel, al imprimirse las piezas, el engranaje 2 se imprimió bien pero el 1 y el 3 no. El engranaje que va ubicado en el medio, el cual tenía el agujero de 4 mm de diámetro central más dos cuartos de otro agujero más grande de 9mm se imprimió correctamente. Pero al imprimir la primera de las piezas que debía ir encajada en estos 2 agujeros no se imprimió bien. Al ser dos superficies tan pequeñas y estar tan juntas, las capas se imprimieron demasiado seguido y quedó el material mal dispuesto y de forma no correcta.



43. Engranaje 1 impreso incorrectamente.

En este punto se podían modificar de nuevo los parámetros y reducir la velocidad, pero era posible que volviera a ocurrir. O también podía imprimirse bien pero que el resorte fuera muy frágil y se rompiera. Así que se decidió cambiar el diseño de esta parte de la reductora.

Cómo la solución de diseño resultó no ser viable se pensó en otra posibilidad. Esta segunda solución consistía en situar 2 varillas de 2 mm de diámetro de hierro paralelas al eje. Esto solo supondría hacer 2 agujeros de 2 mm a cada pieza a parte de incluir la varilla m2 en la lista de elementos estructurales y/o funcionales. En este caso, se hizo la prueba y las piezas se imprimieron correctamente.

Plato de garras: El plato de garras que se había diseñado en el primer diseño se imprimió correctamente, sin errores y encajaba correctamente en los agujeros de los engranajes. Aparentemente no tenía ningún problema, pero al manipularlo con las manos y haciendo algo más de fuerza que de lo normal las garras se rompían. Cómo no se querían correr riesgos se le dio una vuelta al diseño y se modelaron en el mismo plato unas garras un poco más grandes y con más apertura (más largas en anchura). Eso hacía que los agujeros de los engranajes también fueran más grandes, con lo que también debíamos modificar los engranajes 4 y 5. Se hicieron los cambios a todas las piezas con las cotas de las imágenes y seguidamente se imprimió. El resultado fue mucho más robusto que el diseño anterior.

4.6. Ensamblaje y montaje

Este es el punto de proyecto que hace más ilusión ya que se tienen todos los ingredientes para montar y probar que funcione. Pero también es donde hay más incertidumbre porque lo que puede funcionar en la cabeza de uno mismo o sobre el papel, puede que no lo haga en la realidad.

4.6.1. Herramientas usadas durante el proyecto



44. Algunas de las herramientas utilizadas en el proyecto.

Para hacer el montaje y el resto del proyecto se usaron las siguientes herramientas.

13. Alicates pequeños	16. Rosca macho M4	19. Pie de Rey
14. Destornillador con juego de cabezales	17. Broca 4mm	20. Llaves de trinquete 7mm
15. Espátula de acero	18. Portabrocas manual	21. Juego de limas pequeñas

En la imagen faltarían un soldador de estaño, un pelador de cables y un secador de pelo que se usarán más adelante para montar la instalación eléctrica. También se usará una sierra para metal para cortar las varillas roscadas M4. Aunque esté en este apartado, la espátula (fig.3) fue utilizada para despegar de la cama de la impresora las piezas cuando ya estaban acabadas. También se ha utilizado para sacar alguna rebaba importante de alguna pieza.

4.6.2. Preparación de las piezas antes del montaje

Para montar la reductora primero se ensamblarán los subconjuntos y luego se adjuntará todo para que case en el modelo final. Por último, se pasarán los cables y los elementos del circuito eléctrico.

Pero antes de empezar a montar ningún subsistema hay que dejar las piezas preparadas. Con la ayuda de la rosca macho y la broca de 4mm se repasarán todos los agujeros, utilizando una herramienta u otra dependiendo si en el agujero debe ir algún elemento roscado o si solo debe ser un agujero pasante.

Por aquellas zonas que se desee rebajar un poco la superficie o simplemente hacerla más lisa, se utiliza el juego de limas y un poco de acetona para dejarlas bien lisas. La acetona deshace el PLA. Si se aplica el producto con un paño sobre las superficies de las piezas quedarán más lisas, pero también perderán brillo.

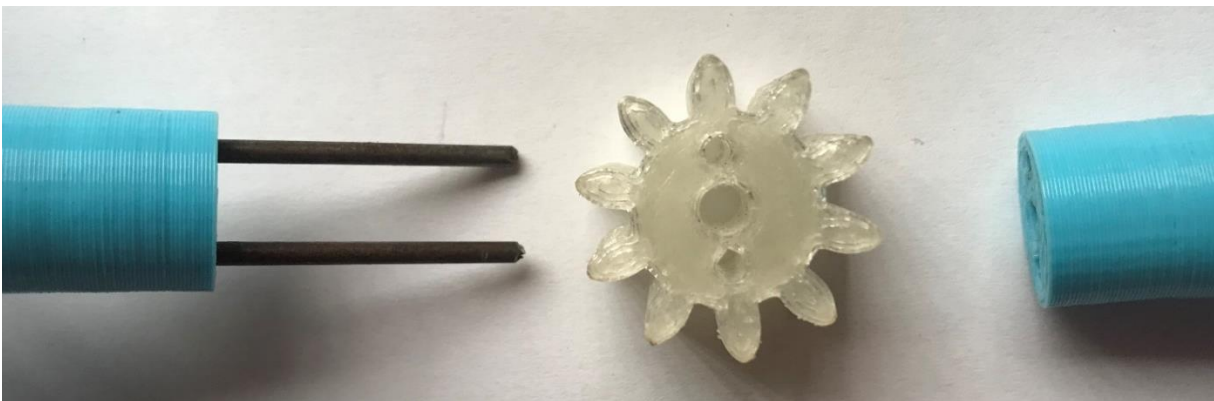
En este proyecto solo se ha hecho en aquellas piezas que no cumplían sus funciones, o bien la superficie irregular perjudicaba el deslizamiento de las piezas necesario para su funcionamiento. Una vez con todas las piezas listas se procede a ir montando todos los subsistemas.

4.6.3. Subsistemas

Eje Primario

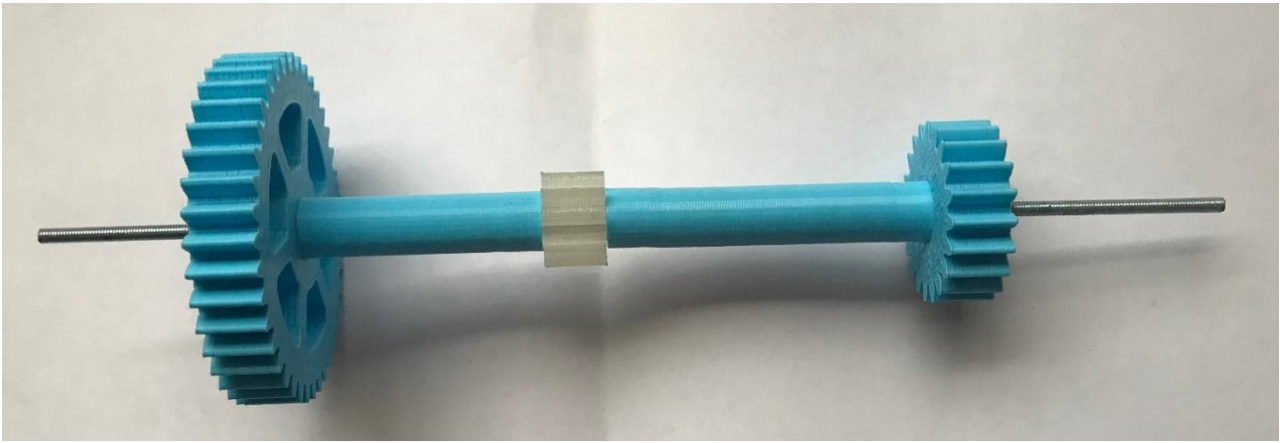
Se empezará a montar la reductora ensamblando las partes el eje primario. Consta de tres piezas impresas en 3d:

Se corta con la sierra de metal un trozo de varilla roscada m4 (fig.11) de 280 mm y 2 trozos de varilla de 2mm lisa de 25mm. En este caso los agujeros deberían ser roscados, pero van a ser pasantes porque si se roscan las piezas en la varilla M4, no hay forma de introducir las varillas en los agujeros de 2 mm. Así pues, se pasa uno de los engranajes de los extremos y el del medio (Engranaje 2). Luego, se introducen las dos varillas de forma que coincidan los agujeros.



45. Varillas puestas en una de las piezas antes de ensamblar los tres en un conjunto.

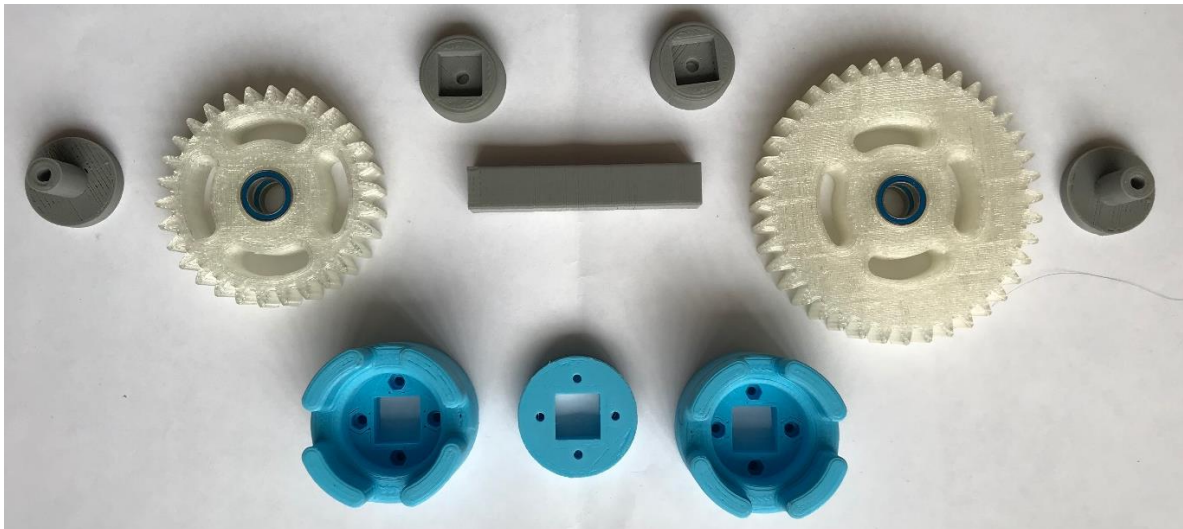
Finalmente se pasa el engranaje del extremo que falta y se fija con una tuerca (fig.) por cada lado usando una arandela (fig.) entre la tuerca y la superficie de la pieza para no dañarla.



46. Eje Primario ensamblado.

Eje secundario

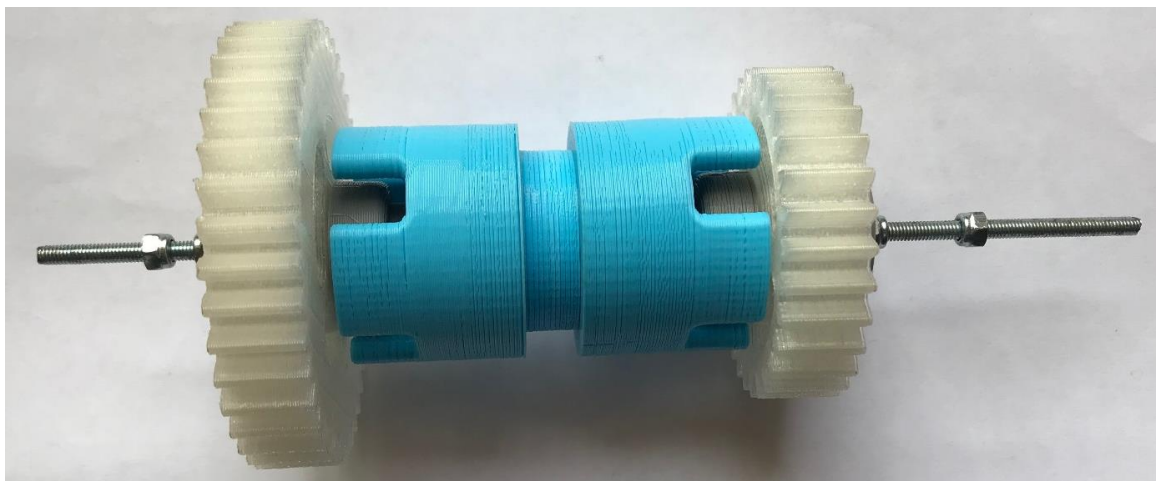
El montaje del Eje Secundario va a ser similar que el montaje del Eje Primario, solo que es algo más complejo y contiene más piezas. Antes de empezar a montar es importante colocar un rodamiento (fig.10) por cada cara de agujero en los Engranajes 4 y 5.



47. Piezas que conforman el conjunto del eje secundario.

Primeramente, se va a montar el conjunto del plato de garras. Se unirán las 3 piezas para pasar los cuatro tornillos M2 (fig.7). Conviene hacerlo con el eje cuadrado en medio para que estas queden bien alineadas. De uno en uno, se irán fijando los tornillos con sus respectivas tuercas (fig.6) que van a quedar fijas gracias a las paredes hexagonales del plato de garras.

Una vez montado el plato de garras se empezará a montar el eje secundario con el plato en su sitio en una varilla roscada cortada a 270 mm. Primero el eje cuadrado con sus topes, y luego los engranajes 4 y 5 con sus cojinetes en contacto con sus topes. Finalmente se fija con una tuerca (fig.2) por cada lado usando una arandela como en la ocasión anterior. Antes de seguir, vale la pena comprobar que los ejes hayan quedado completamente rectos y que el plato se mueva a un lado y a otro, así como que los engranajes puedan rodar sin muchas rozaduras.



48. *Conjunto del Eje Secundario ensamblado.*

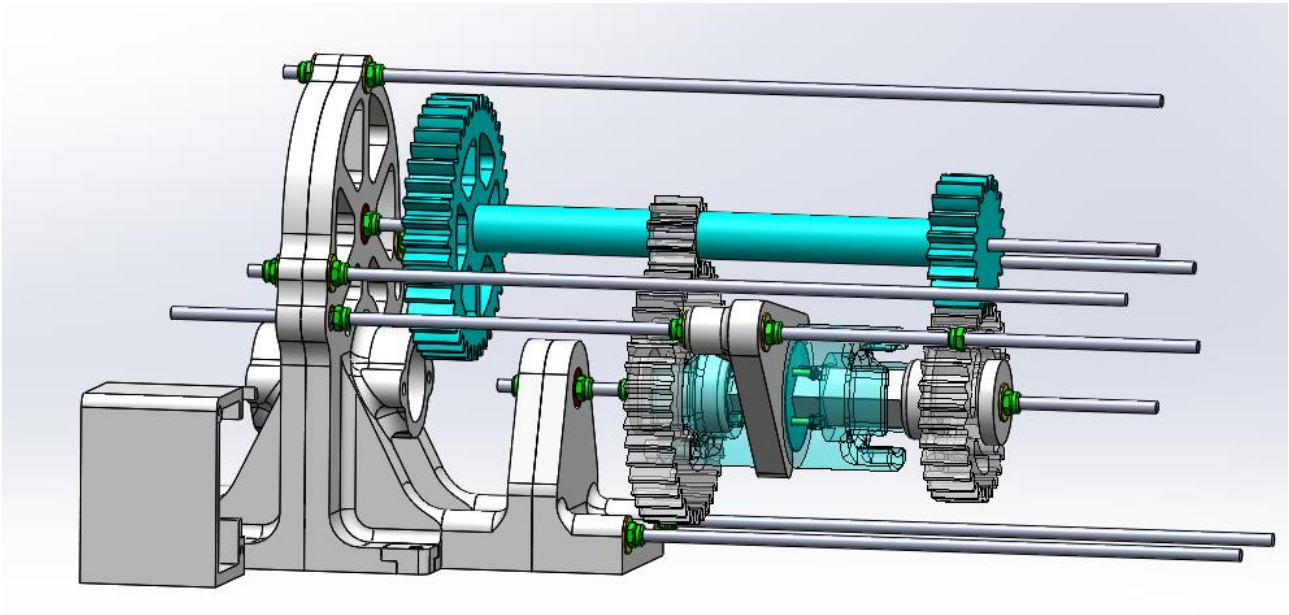
Selector

El Montaje del selector es el más simple, solo basta en cortar la varilla lisa de 4 mm a 350 mm y pasarla por el agujero del selector. Para fijar el selector se usan los lockers (fig.1) aunque no hay que apretarlos demasiado ya que la posición exacta se va a determinar cuando los ejes se presenten en los soportes.

Soportes

A partir de este apartado ya se va a empezar a ensamblar subconjuntos ya montados. Se ensamblarán conjuntamente los dos ejes ya montados en los soportes. Primeramente, se insertarán en los soportes los rodamientos (fig.5) y (fig.8) que deben quedar bien colocados para que los ejes rueden correctamente. Seguidamente se juntan las dos partes del soporte motor y del soporte eje secundario, y se pasan las dos varillas posteriores cortadas previamente con una longitud de 385 mm.

A parte de los dos soportes también se va a juntar la caja eléctrica. Se trabajará con ella más adelante, pero se va a fijar en este punto porque es una extensión del “Soporte No Motor”. Se fijarán las cinco piezas con las dos varillas utilizando cuatro tuercas y poniendo una arandela por cada tuerca para no dañar la superficie. Seguidamente se van a roscar al revés una tuerca por cada lado en los ejes. Estas tuercas harán de tope para los soportes. Una vez hecho esto se sitúan los dos ejes y el eje del selector en los soportes montados presentando el Soporte No Motor.



49. Simulación Solid Works del montaje de los soportes.

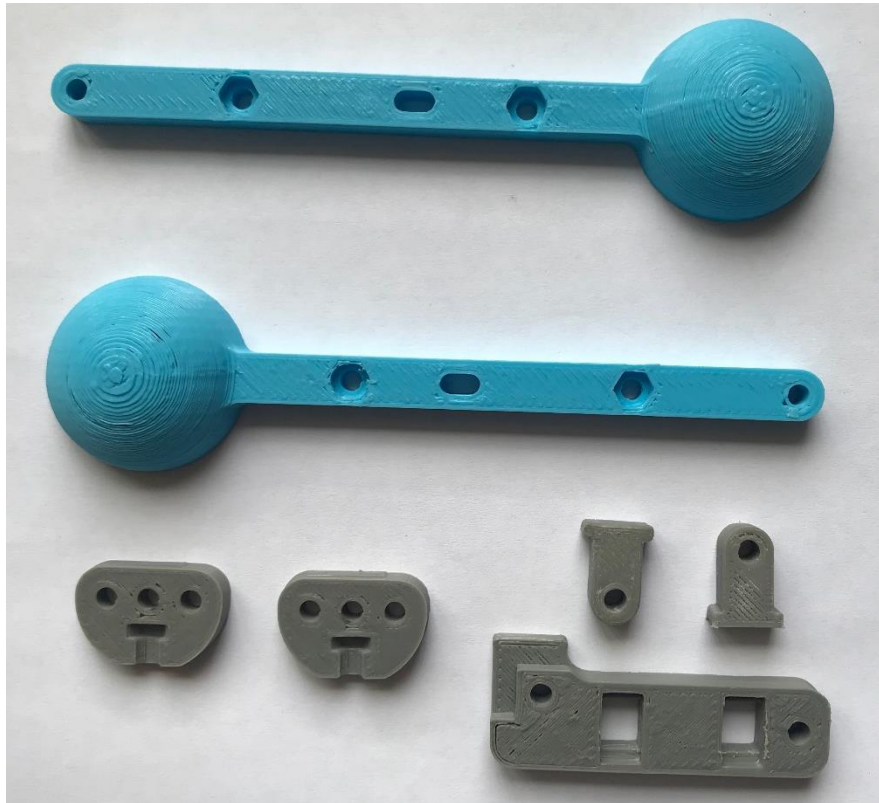
Este es el momento para hacer ajustes de la posición de las tuercas y los lockers para que queden a la distancia deseada. Una vez esté todo en su sitio se fijará el Soporte No Motor en las 2 varillas con 4 tuercas i 4 arandelas (una para cada agujero).

También se roscarán los ejes por el exterior con más tuercas y se acabarán de fijar los soportes con las 3 varillas de sujeción que nos quedan, que tendrán una medida de 285 mm. Es muy importante comprobar que los soportes queden alineados midiendo las distancias entre ellos, ya que si las paredes de estos no quedan completamente paralelas el sistema no funcionará adecuadamente y además los rodamientos pueden sufrir muchos esfuerzos y llegar a romperse. En este punto también se puede colocar el velocímetro en el extremo del Eje Secundario.

Se recomienda fijar a una superficie la reductora con los anclajes y los tornillos para que quede fija y se pueda trabajar mejor. Además, el soporte de la palanca que se fijará en el siguiente apartado debe ir también fijado a una superficie.

Palanca y transmisor

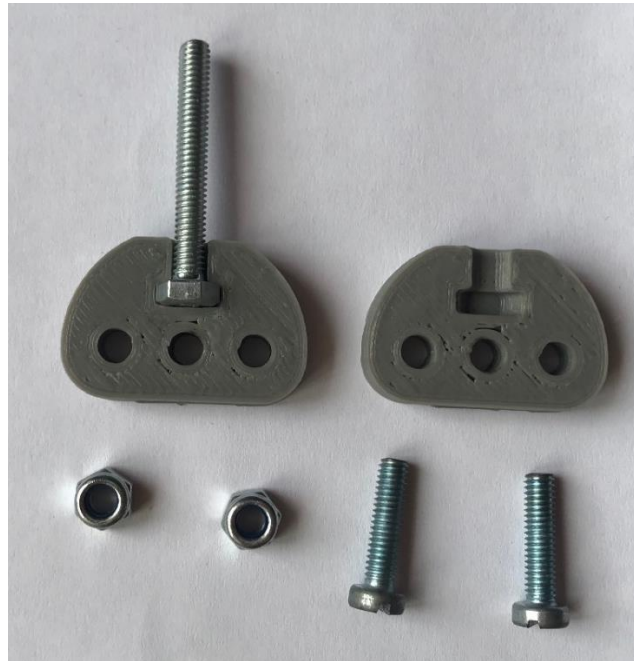
Para acabar de montar toda la parte mecánica de la reductora con velocidad variable se van a usar las siguientes piezas:



50. Piezas que conforman el transmisor, la palanca y su soporte.

Se ensamblará la palanca, el soporte de la palanca y el transmisor por separado y luego se ensamblará todo juntamente con el resto del conjunto.

Se usarán unos tornillos de 20mm (fig.9) y unas tuercas M4 (fig.2) para unir las piezas de la palanca y del transmisor. Entre las piezas del transmisor se va a colocar un tornillo M4 de 35 mm la punta del cual va a estar en contacto con la palanca al montarse todo junto.



51. Montaje del transmisor.

Para montarlo todo en el conjunto hay que fijar el transmisor con unos lockers a la varilla lisa del selector. Es muy importante que esté fijada en un punto que al moverse para cambiar de marcha no toque con ningún otro elemento. El truco es fijarlo cuando hay la marcha corta puesta, que es la que tira la varilla del selector hacia dentro. Si se fija en este punto lo máximo adelante posible sin que este tocando con ningún elemento, no va a tener problemas ya que para poner la marcha más larga se moverá hacia al lado opuesto del sistema.

Instalación eléctrica

De las tres parejas de conectores JST que se van a usar. A continuación, se indica donde se soldarán las patas de cada uno de ellos. Antes de soldar, hay que pasar un trozo de tubo termoretráctil que luego habrá que calentar encima de la soldadura para que quede protegida.

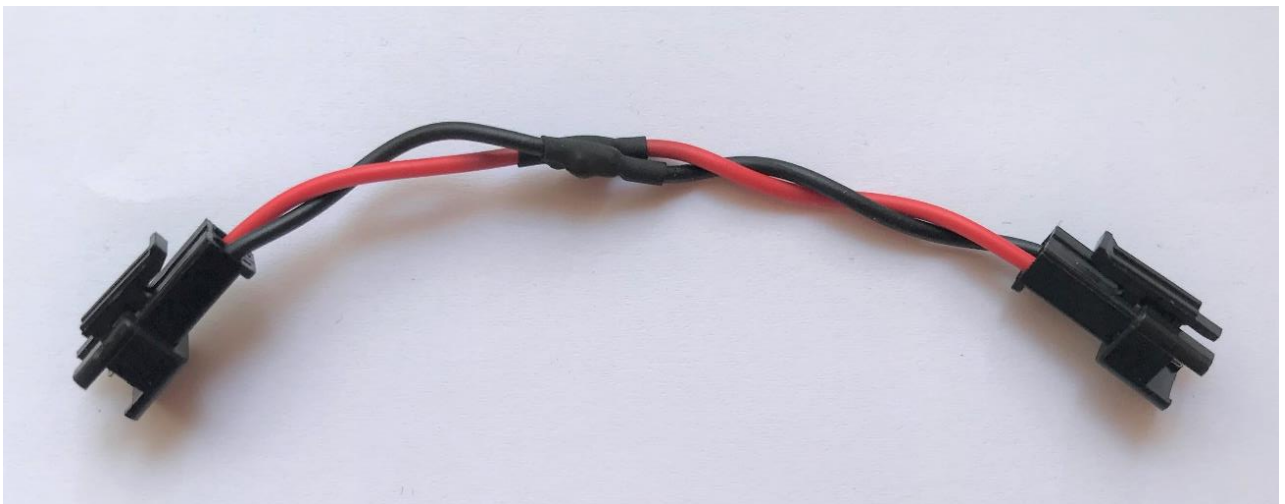
- Un conector macho se suelda en las patas del motor. Con los cables soldados al motor y el termoretráctil calentado, se le introduce el piñón al motor. Como el diámetro exterior del piñón es menor que el agujero del soporte del motor se va a pasar todo por dentro de este hasta que la superficie de la carcasa quede a medida de los dos lados.

Seguidamente, se van a poner dos tornillos con arandela para que hagan de tope y se introducirá el conector al agujero de la tapa hasta que las orejas de este queden bien posicionadas. Por último, se fija la tapa al soporte con dos tornillos.



52. Proceso de colocación del motor.

- Dos conectores hembras se empalmarán entre ellos, cable rojo con rojo y negro con negro. Este va a ser el latiguillo que irá conectado de la tapa del motor a la caja.



53. Latiguillo que va del motor hasta la caja eléctrica

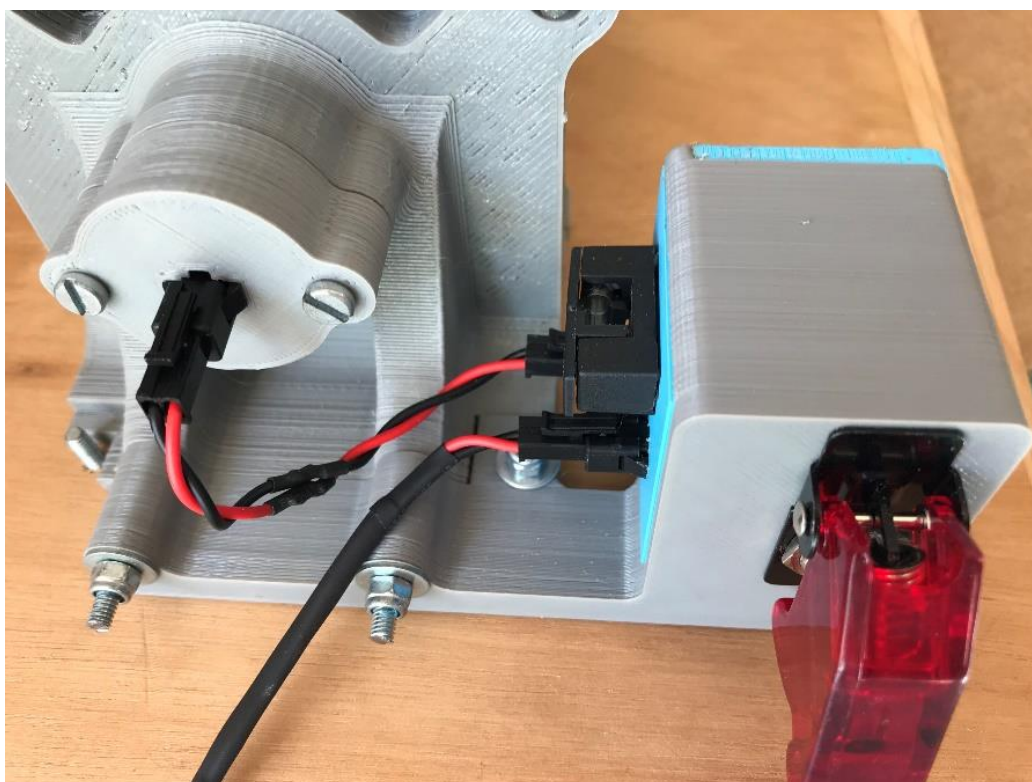
- Seguidamente se cogen los dos conectores machos que quedan y se sueldan los cables rojos a patas distintas del interruptor, y los negros a patas distintas del portafusibles. Es aconsejable poner las patas del portafusibles y los conectores en sus agujeros de la tapa de la caja antes de soldar. Una vez con todo soldado y el termoretráctil calentado, solo

hay que poner el interruptor en su sitio y tapan la caja con los dos tornillos m3. Antes de tapar, hay que retirar el pequeño soporte que se le hizo en el diseño de la tapa para poder imprimirla.



54. Proceso con todos los empalmes hechos y el interruptor en su sitio, listo para cerrar la caja.

- Por último, se cortará i pelará el extremo de la fuente de alimentación, que es un cargador viejo. Después de pelar la manguera, salen dos cables, uno negro y el otro rojo. Se empalma el rojo con el rojo del conector hembra restante, y el negro con el negro.



55. Instalación eléctrica acabada.

Finalizados estos pasos, se puede comprobar el funcionamiento conectándolo a la red doméstica y activando al interruptor. Este es un buen momento también para ajustar algún tornillo que pueda haber quedado en mala posición en la reductora.

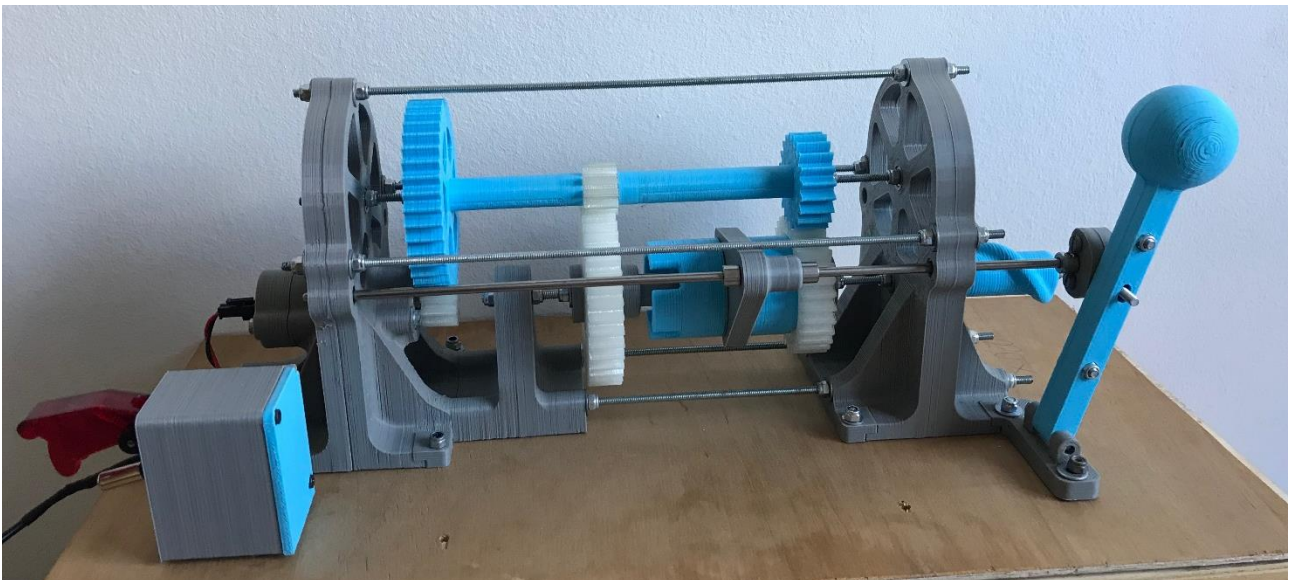
5. CONCLUSIONES

5.1. Modelo Final

Una vez acabada la reductora, es el momento de probarla, valorar si funciona correctamente y cumple con el objetivo, así como las funciones de diseño del proyecto.

La reductora funciona, sus engranajes engranan a la perfección y reducen la velocidad del piñón hasta el eje de salida. El sistema de la palanca y el transmisor también funciona a la perfección y no hay que hacer extraños ni esfuerzos para cambiar de marcha. Los soportes se mantienen firmes sin moverse gracias a las varillas que en conjunto hacen de la reductora un conjunto muy compacto. Los Ejes transmiten bien el movimiento y el plato de garras entra en los engranajes con mucha facilidad, aunque a veces no a la primera.

Se comprueban las velocidades de salida de las dos marchas. Con la ayuda del velocímetro fijado en el eje de salida y un cronometro, se verifica la velocidad sabiendo lo que tarda en dar una vuelta el eje de salida.



56.Reductora acabada de montar.

5.2. Presupuesto del proyecto

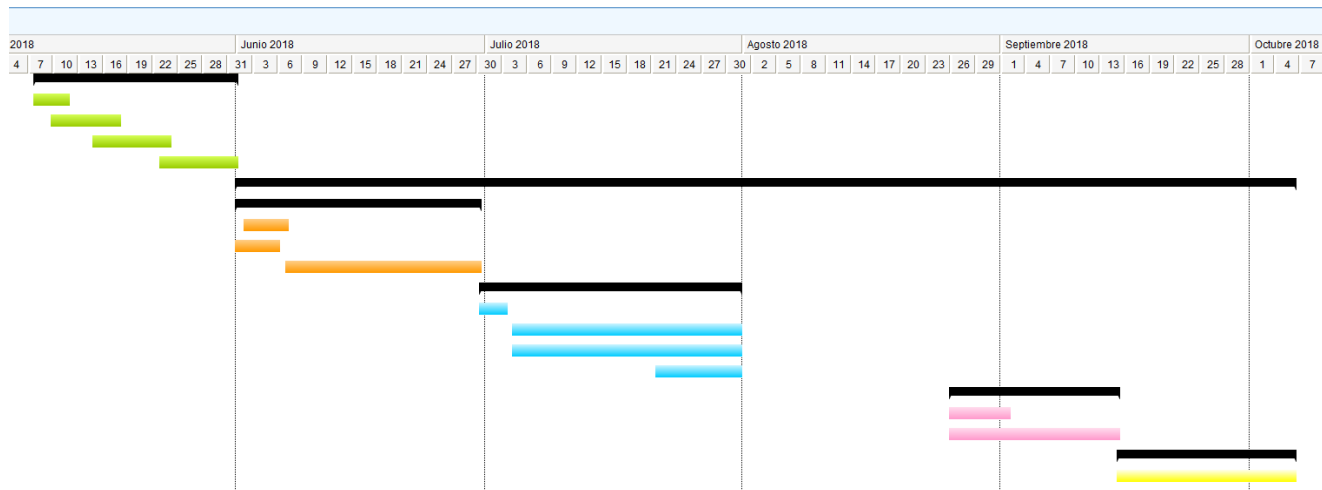
A continuación, se presenta una tabla de todo lo que se ha comprado para este proyecto y lo que ha costado. Hay que mencionar que muchas cosas como el filamento o las tuercas entre otros, han sobrado en cantidad y pueden servir para otros proyectos. Algunos elementos que aparecen en el proyecto y no están en esta lista, es porque se consiguieron a coste 0 o ya se tenían de otros proyectos.

Motor	8,31 €	Conectores JST	1,10 €
Rodamientos M4	3,00 €	Portabrocas manual	2,77 €
Rodamientos lineales	4,97 €	Rosca macho	1,52 €
Tornillos M2	1,63 €	Tubo teflón	2,06 €
Tuercas M2	2,59 €	Tornillos M3	4,21 €
Interruptor	2,56 €	Llave trinquete	7,60 €
lockers	3,23 €	Filamento PLA azul 1kg	29,00 €
Rodamientos 10mm	1,64 €	Filamento PLA gris 1kg	29,00 €
Varilla lisa	3,51 €	Varillas roscadas 1m x3	0,75 €
Fuente alimentación	2,46 €	Tornillería M4	1,65 €
		TOTAL	113,56 €

5.3. Esquema temporal del proyecto

A continuación, diagrama de Gantt del proyecto:

	?	Nombre	Duración	Inicio	Fin
1		☐ MARCO TEÓRICO	19 días?	05/07/2018	05/31/2018
2		Conceptos previos	5 días?	05/07/2018	05/11/2018
3		Definición y usos de las reductoras de velocidad	7 días?	05/09/2018	05/17/2018
4		Búsqueda de los tipos de reductoras	8 días?	05/14/2018	05/23/2018
5		Búsqueda y clasificación de las impresoras 3D	8 días?	05/22/2018	05/31/2018
6		☐ MARCO PRÁCTICO	91 días?	05/31/2018	10/04/2018
7		☐ DISEÑO	22 días?	05/31/2018	06/29/2018
8		Selección del tipo de reductora i tipo de impresión	4 días?	06/01/2018	06/06/2018
9		Prediseño de la reductora	4 días?	05/31/2018	06/05/2018
10		Diseño de la reductora mediante SolidWorks	18 días?	06/06/2018	06/29/2018
11		☐ PROCESO IMPRESIÓN	22 días?	06/29/2018	07/30/2018
12		Puesta en marcha de la impresora y acondicionamiento	2 días?	06/29/2018	07/02/2018
13		Búsqueda de defectos y posibles soluciones	20 días?	07/03/2018	07/30/2018
14		Impresión de las piezas de la reductora	20 días?	07/03/2018	07/30/2018
15		Inspección de las piezas y modificaciones del diseño ini...	7 días?	07/20/2018	07/30/2018
16		☐ MONTAGE	15 días?	08/24/2018	09/13/2018
17		Preparación de las piezas antes del montage	6 días?	08/24/2018	08/31/2018
18		Montage de la reductora	15 días?	08/24/2018	09/13/2018
19		☐ REALIZACIÓN DE LA MEMORIA	16 días?	09/13/2018	10/04/2018
20		Redactar en la memoria el marco práctico	16 días?	09/13/2018	10/04/2018



Las horas total destinadas a cada parte son las siguientes:

Tarea	Horas
Marco teórico	70
Diseño	170
Proceso de impresión	250
Montaje	40
Redacción marco practico	140
TOTAL HORAS PROYECTO	670

A continuación también se incluye los tiempos de impresión de cada pieza y la longitud de filamento usado:

PIEZA	TIEMPO IMPRESIÓN POR PIEZA	FILAMENTO CONSUMIDO
Engranaje 1	3:47:07	17449 mm
Engranaje 2	0:30:22	1783 mm
Engranaje 3	1:38:44	8316 mm
Engranaje 4	2:14:18	14726 mm
Engranaje 5	1:26:03	8917 mm
Eje secundario	0:45:03	3239 mm
Tope interno	0:13:29	1234 mm
Tope externo	0:17:16	1261 mm
Plato de garras	1:31:27	8528 mm
Anillo	0:25:43	2231 mm
Soporte no-motor	4:57:23	30517 mm
Soporte motor	5:27:53	33363 mm
Soporte eje secundario	1:38:41	9319 mm
Anclajes	0:07:34	452 mm
Soporte palanca-1	0:27:59	2352 mm
Soporte palanca-2	0:06:25	534 mm
Palanca	1:02:18	5991 mm
Transmisor	0:12:10	929 mm
Caja eléctrica	3:28:01	18172 mm
Tapa motor	0:34:54	3090 mm
Tapa caja eléctrica	1:12:19	5403 mm
Velocímetro	0:42:37	4329 mm
Piñón	0:21:55	1492 mm
Selector	0:46:58	4936 mm

5.4. Conclusiones destacadas

Como conclusión, se puede afirmar que se ha cumplido el objetivo planteado con éxito.

He diseñado y construido una reductora con cambio de velocidad impresa en 3d.

Cumpliendo este objetivo principal se da a entender que también se han cumplido el resto de objetivos propuestos que salen de este y alguno más.

Se ha hecho el diseño de la reductora con un cambio de velocidad implementado en el conjunto del diseño, se han diseñado las piezas para poder ser impresas y se ha usado la tecnología de impresión 3d para hacerlas físicas. Se han solucionado los problemas que han ido ocurriendo a lo largo del proyecto, modificando parámetros de impresión, acondicionando la impresora y haciendo algún cambio del diseño inicial.

Finalmente se puede afirmar que con la realización de este proyecto se ha profundizado los conocimientos aprendidos en la Universidad y se ha aprendido de nuevos.

5.5. Líneas futuras

Durante la realización de este proyecto, he tenido algunas otras ideas relacionados con mi proyecto que quiero compartir para hacer otros posibles proyectos o para dar ideas a la hora de elegir un proyecto. Mis ideas han sido las siguientes:

- Estudio de diseño y construcción de una caja de cambios impresa en 3d.
- Estudio i cálculo de propiedades de los distintos materiales y técnicas de impresión 3d.
- Estudio de diseño y construcción de un diferencial autoblocante impreso en 3d

5.6. Agradecimientos

No puedo acabar este trabajo sin agradecer la ayuda de los directores de mi proyecto final de grado, así como los miembros de mi familia y amigos que me han dado soporte y me han ayudado a darme ideas. Muchas gracias a todas las personas que han hecho posible la realización de este proyecto final de grado.

6. Bibliografía

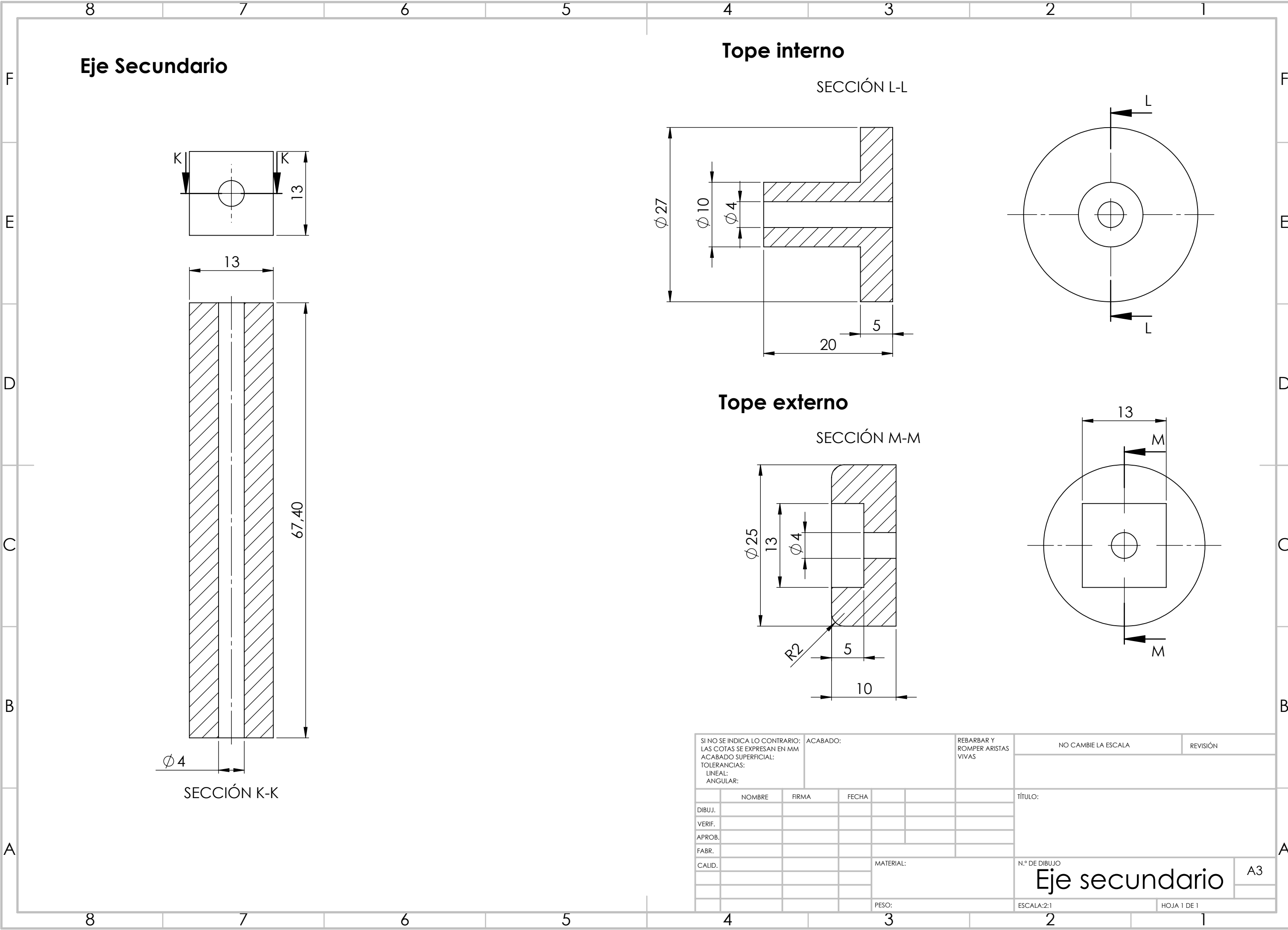
- Relación de transmisión. [acceso 05 de mayo de 2018]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Relaci%C3%B3n_de_transmisi%C3%B3n
- Potencia y par motor: qué son y en qué se diferencian. [acceso 05 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/potencia-par-motor/>
- Reductores de velocidad. [acceso 05 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/71101248/REDUCTORES-DE-VELOCIDAD>
- ¿Cuáles son los elementos a tener en cuenta para elegir reductores de velocidad? [acceso 05 de mayo de 2018]. Disponible en: https://www.roydisa.es/elegir-tipo-reductores-apropiados/#Cuales_son_lo_principales_beneficios_del_uso_de_reductores_de_velocidad
- CAJA DE CAMBIOS. -PARTE 1. [acceso 06 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=5jgkeP4JHr8&t=1619s>
- Cadena vs banda vs cardan en una moto Ventajas y desventajas. [acceso 10 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ZijzU1LIPOk>
- Mantenimiento y mejora de la reductora en un todoterreno. [acceso 10 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.autofacil.es/tecnica/2014/09/10/mantenimiento-mejora-reductora-todoterreno/20017.html>
- Tornillo Sinfín-Corona
- Reductor Cicloidal. [acceso 10 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.marioperez.com.mx/mecatronica/reductor-cicloidal/>

- Entendiendo El Sistema de Engranajes Planetarios. [acceso 13 de mayo de 2018]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=iuDU_1pSBJEemasdetransmisiondefuerzas.blogspot.com/2015/03/tren-epicicloidal-introduccion-las.html
- Programación Ingeniería Mecánica UPB. [acceso 16 de mayo de 2018]. Disponible en: https://es.wikiversity.org/wiki/ProgramacionIngenieriaMecanicaUPB:Grupo_10
- ¿Engranajes helicoidales o engranajes rectos? [acceso 17 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/engranajes-rectos-engranajes-helicoidales/>
- 9 tipos de impresoras 3D – Guía de tecnologías de impresión 3D. [acceso 18 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>
- Tipos de impresoras 3D, comparativa y cómo distinguirlas. [acceso 18 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://of3lia.com/TIPOS-DE-IMPRESORAS-3D/>
- The ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing. [acceso 21 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/#materials>
- How Stereolithography (SLA) 3D Printing Works? [acceso 21 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://manufactur3dmag.com/stereolithography-sla-3d-printing-works/>
- Una vez expirada la patente, empieza la competencia en las impresoras 3D SLS. [acceso 22 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://imprimalia3d.com/noticias/2014/08/20/002933/una-vez-expirada-patente-empieza-competencia-impresoras-3d-sls>
- Tecnología 3D Multi Jet Fusion. [acceso 22 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=v5lyK8ijLjg>
- La guía definitiva sobre los distintos filamentos para impresoras 3D. [acceso 24 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>

- Wanhao Duplicator i3 V2.1. [acceso 25 de mayo de 2018]. Disponible en:
<https://www.impresoras3d.com/producto/wanhao-duplicator-i3-v2-1/>
- Wanhao Duplicator i3. [acceso 25 de mayo de 2018]. Disponible en:
<https://www.3dprima.com/3d-printers/wanhao-duplicator-i3-v2-1-3d-drucker/a-22064/>
- Guía de resolución de problemas. [acceso 25 de mayo de 2018]. Disponible en:
<https://www.leon-3d.es/guia-de-resolucion-de-problemas/>
- El Warping: qué es y como evitarlo. [acceso 28 de mayo de 2018]. Disponible en:
<https://www.impresoras3d.com/el-warping-que-es-y-como-evitarlo/>

7. Anexos

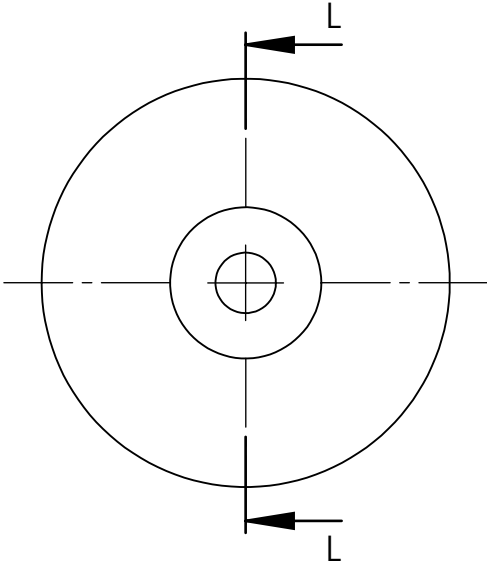
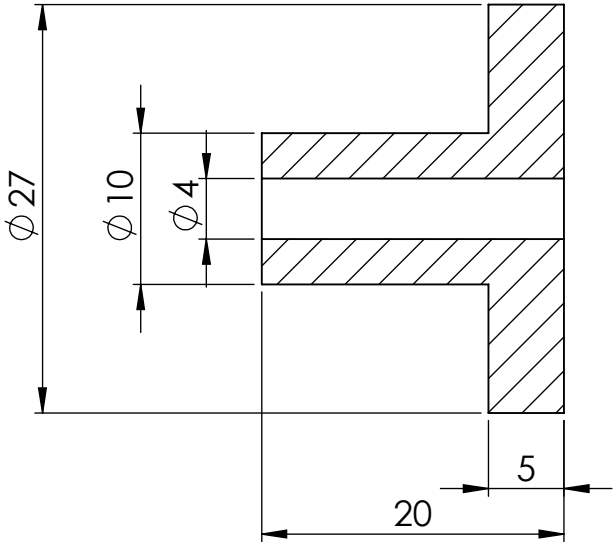
7.1. Planos de las piezas



Eje Secundario

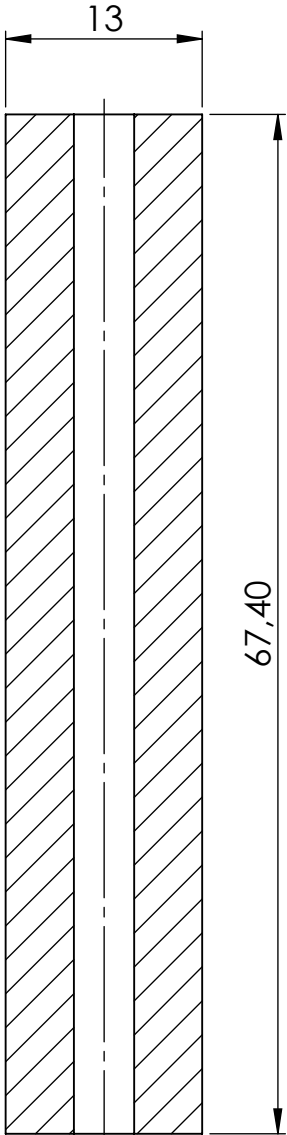
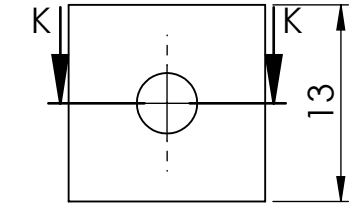
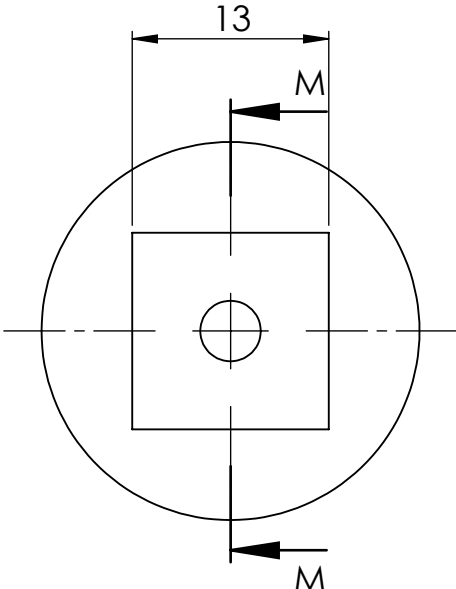
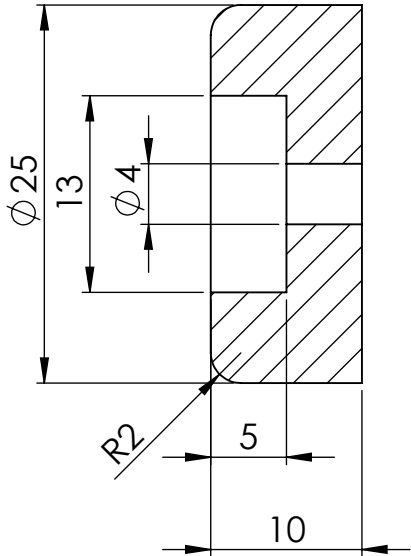
Tope interno

SECCIÓN L-L



Tope externo

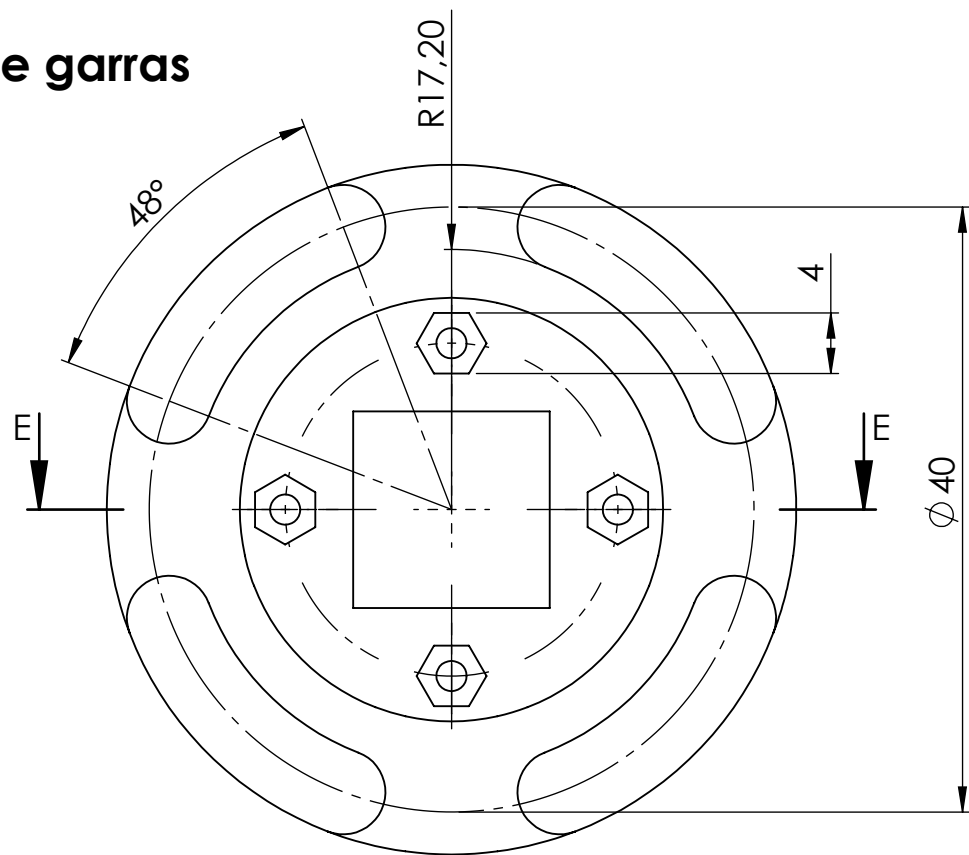
SECCIÓN M-M



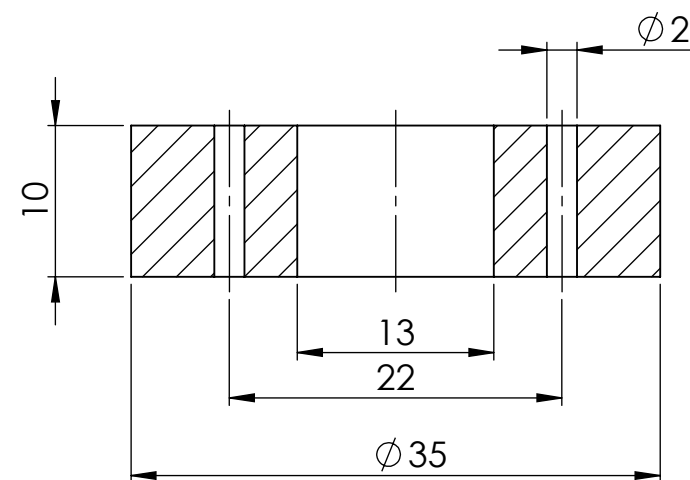
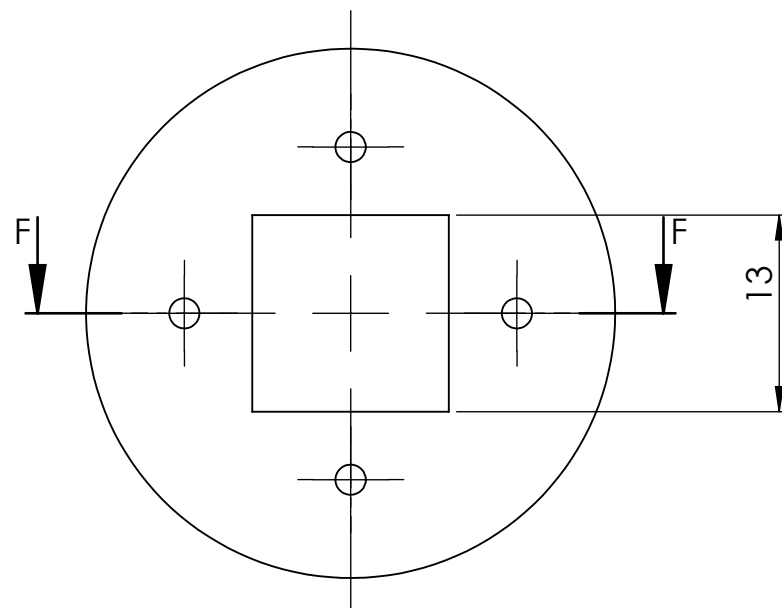
SECCIÓN K-K

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO Eje secundario <div>A3</div>			
						PESO:		ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	

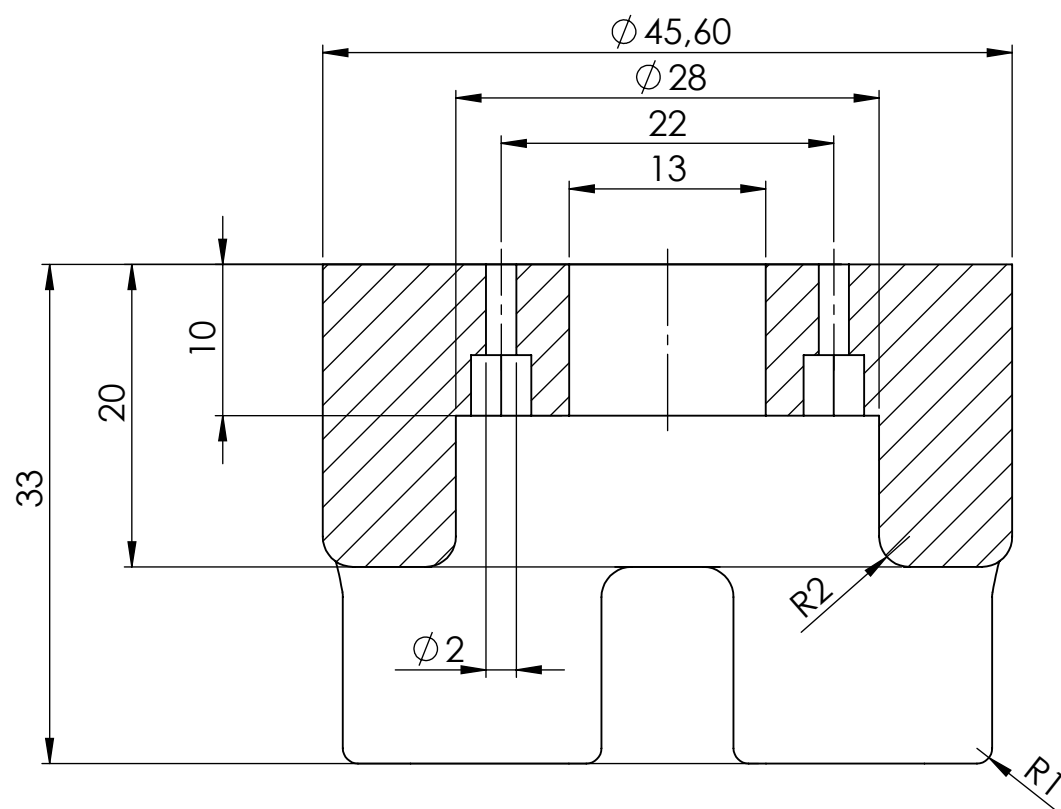
Plato de garras



Anillo



SECCIÓN F-F
ESCALA 2 : 1



SECCIÓN E-E
ESCALA 2 : 1

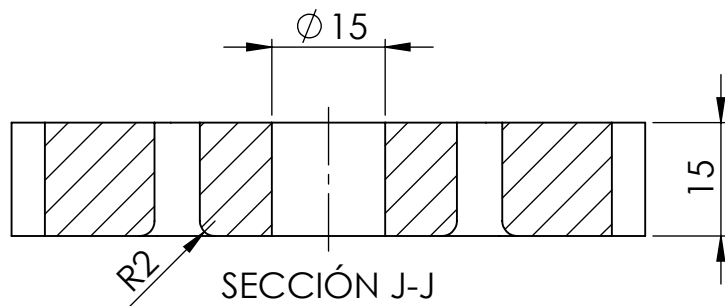
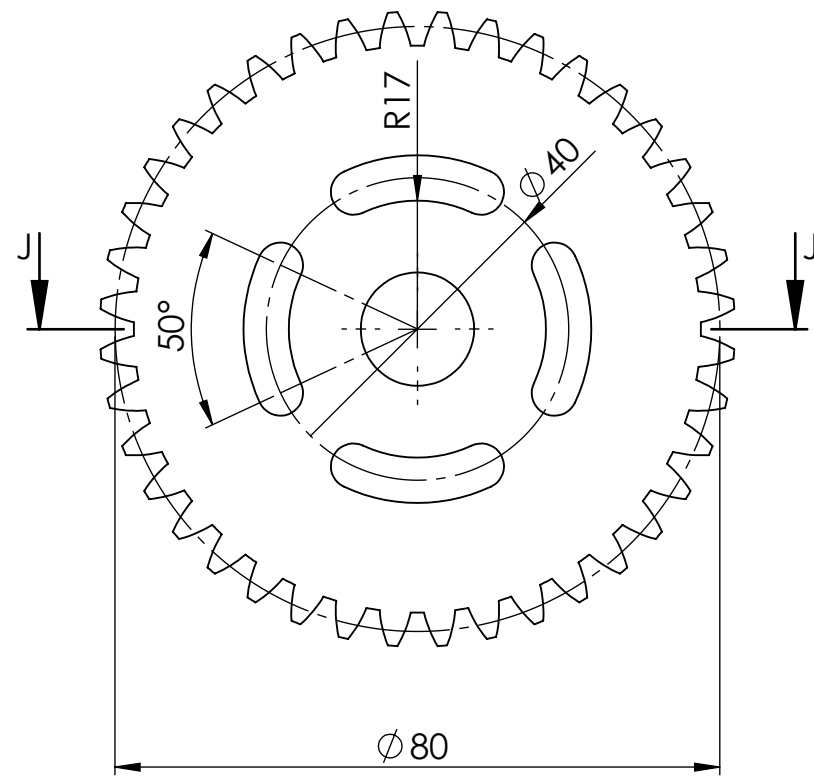
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN									
DIBUJ.				NOMBRE				FIRMA				FECHA				TÍTULO:			
VERIF.																			
APROB.																			
FABR.																			
CALID.																			
																MATERIAL:			
																PESO:			
																ESCALA:1:1			
																HOJA 1 DE 1			

N.º DE DIBUJO

Eje secundario

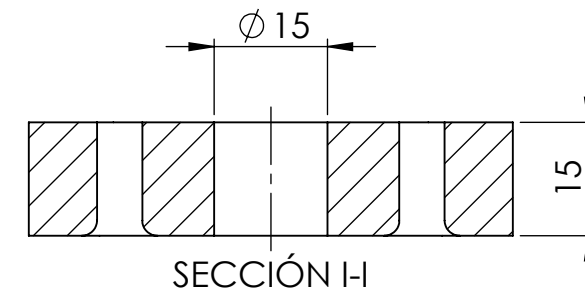
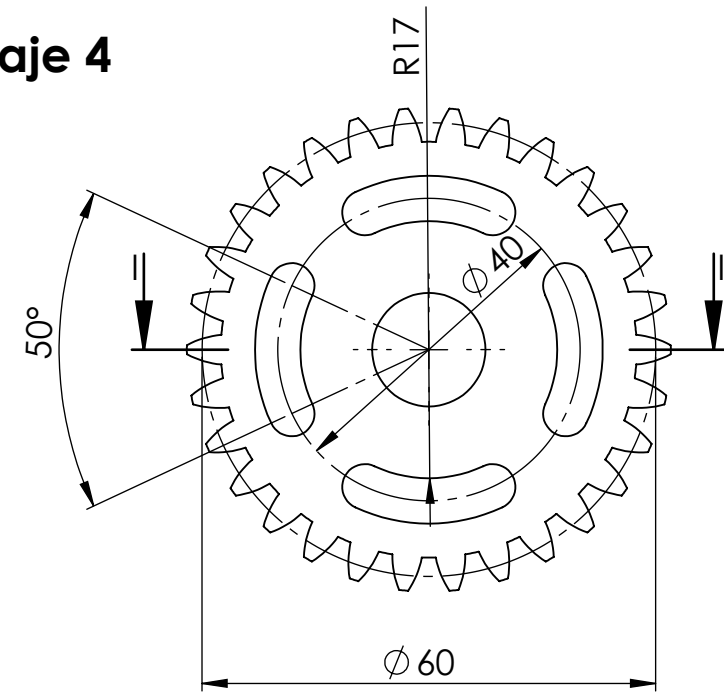
A3

Engranaje 5



Datos	Engranaje 5
Módulo normal	2
Número de dientes	40
Diámetro primitivo	80 mm
Diámetro exterior	84 mm
Ángulo de presión	20°
Altura del diente	4.34 mm
Paso circular	6.28 mm

Engranaje 4



Datos	Engranaje 4
Módulo normal	2
Número de dientes	30
Diámetro primitivo	60 mm
Diámetro exterior	64 mm
Ángulo de presión	20°
Altura del diente	4.33 mm
Paso circular	6.28 mm

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.									
						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
								Eje secundario	
						PESO:		ESCALA:1:1	
								HOJA 1 DE 1	
								A3	

F



F



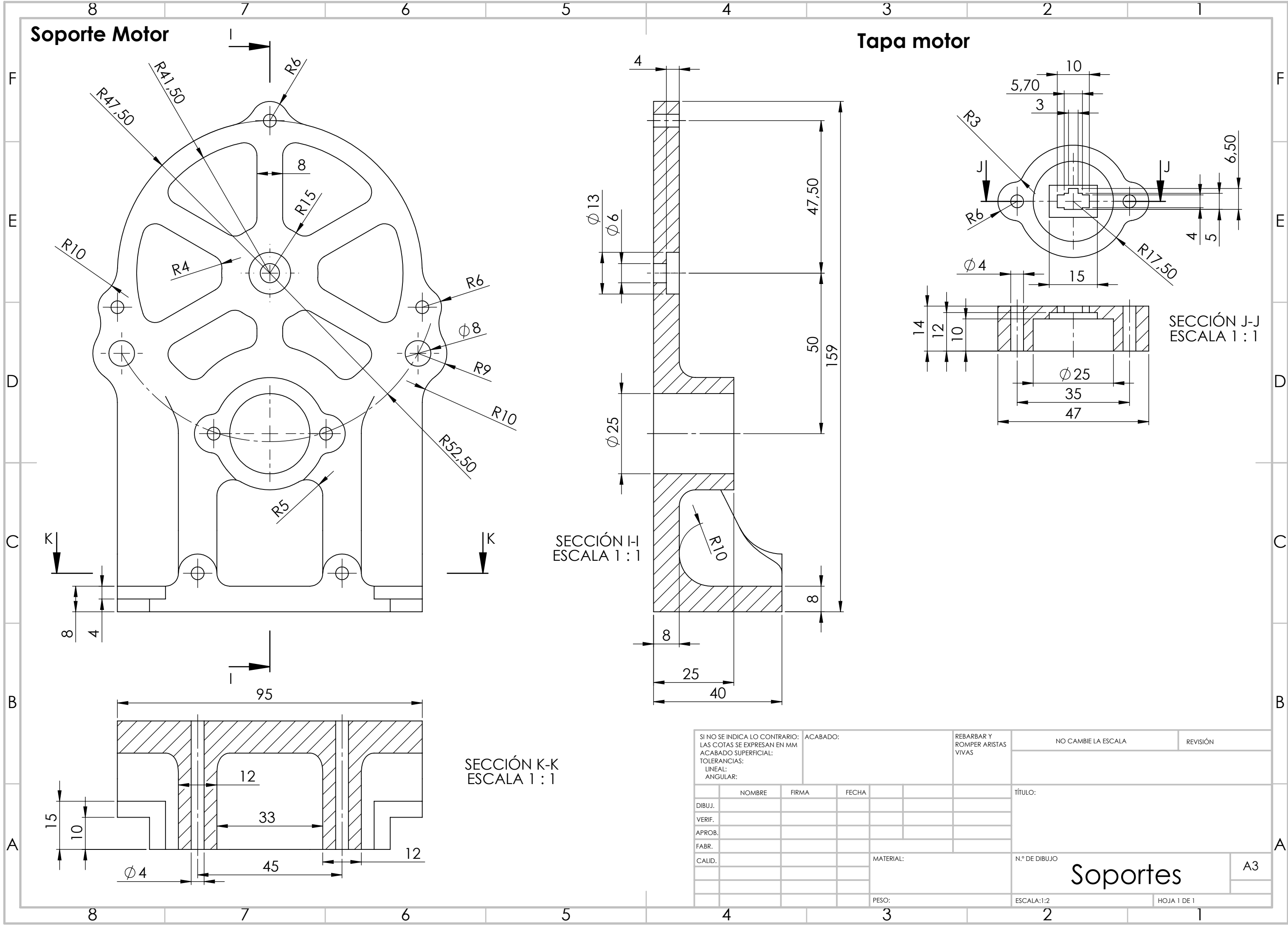
B

A

A

A3

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA				TÍTULO:				
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.				MATERIAL:			N.º DE DIBUJO				A3
							Soportes				
				PESO:			ESCALA:1:2				HOJA 1 DE 1

F



F



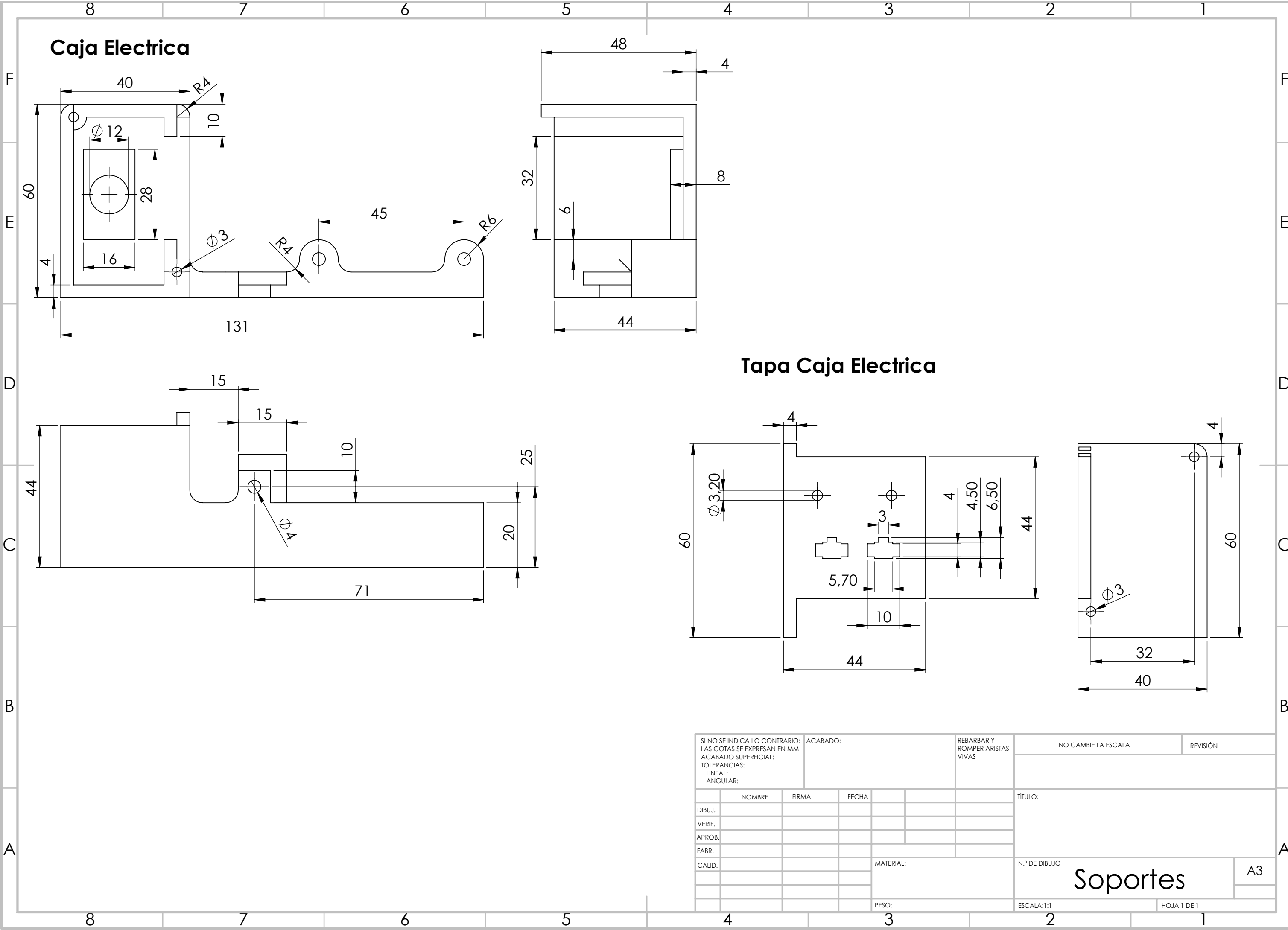
B

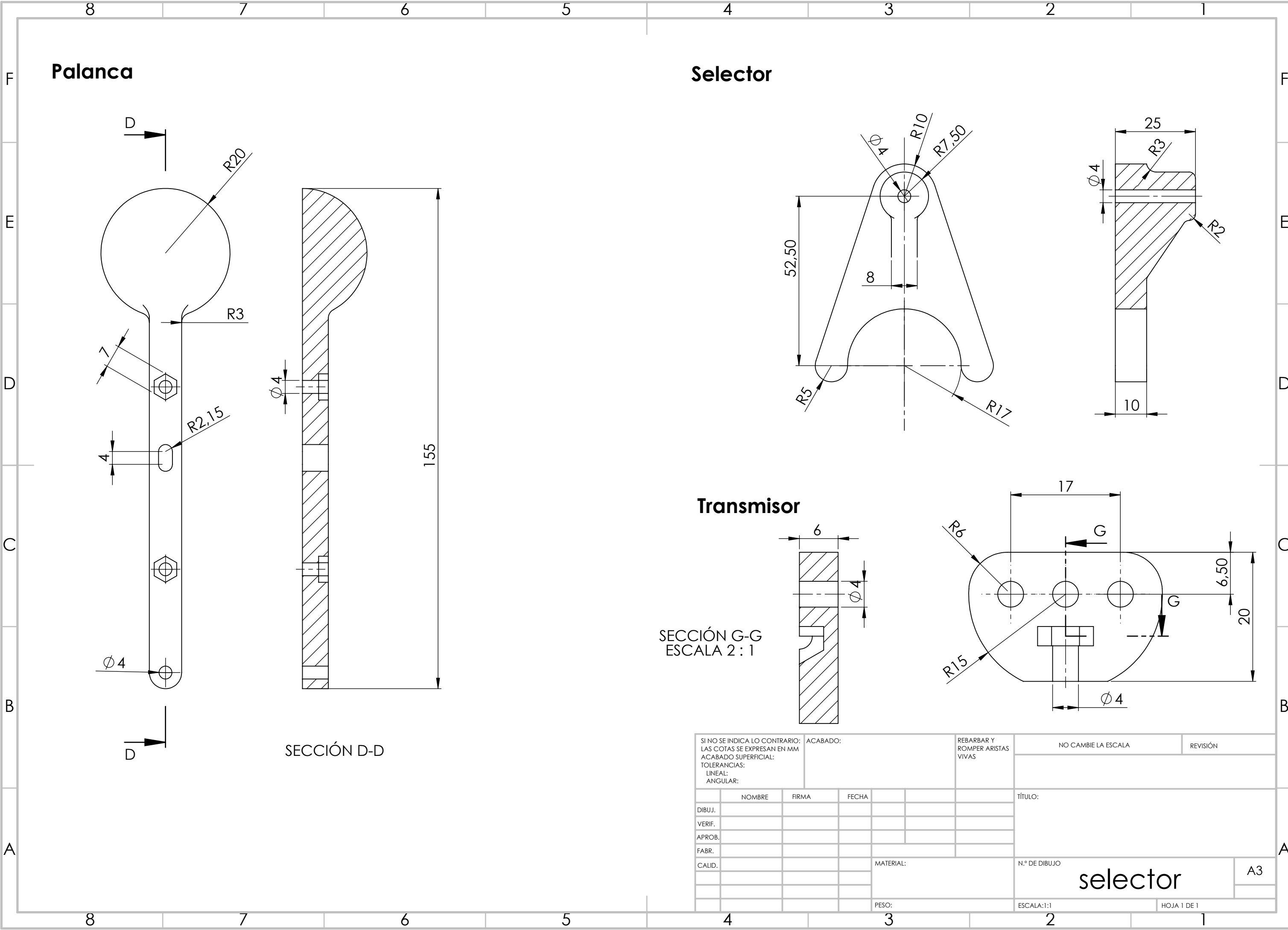


B

A

Soportes





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA				TÍTULO:				
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.											
				MATERIAL:			N.º DE DIBUJO				A3
							selector				
				PESO:			ESCALA:1:1				HOJA 1 DE 1